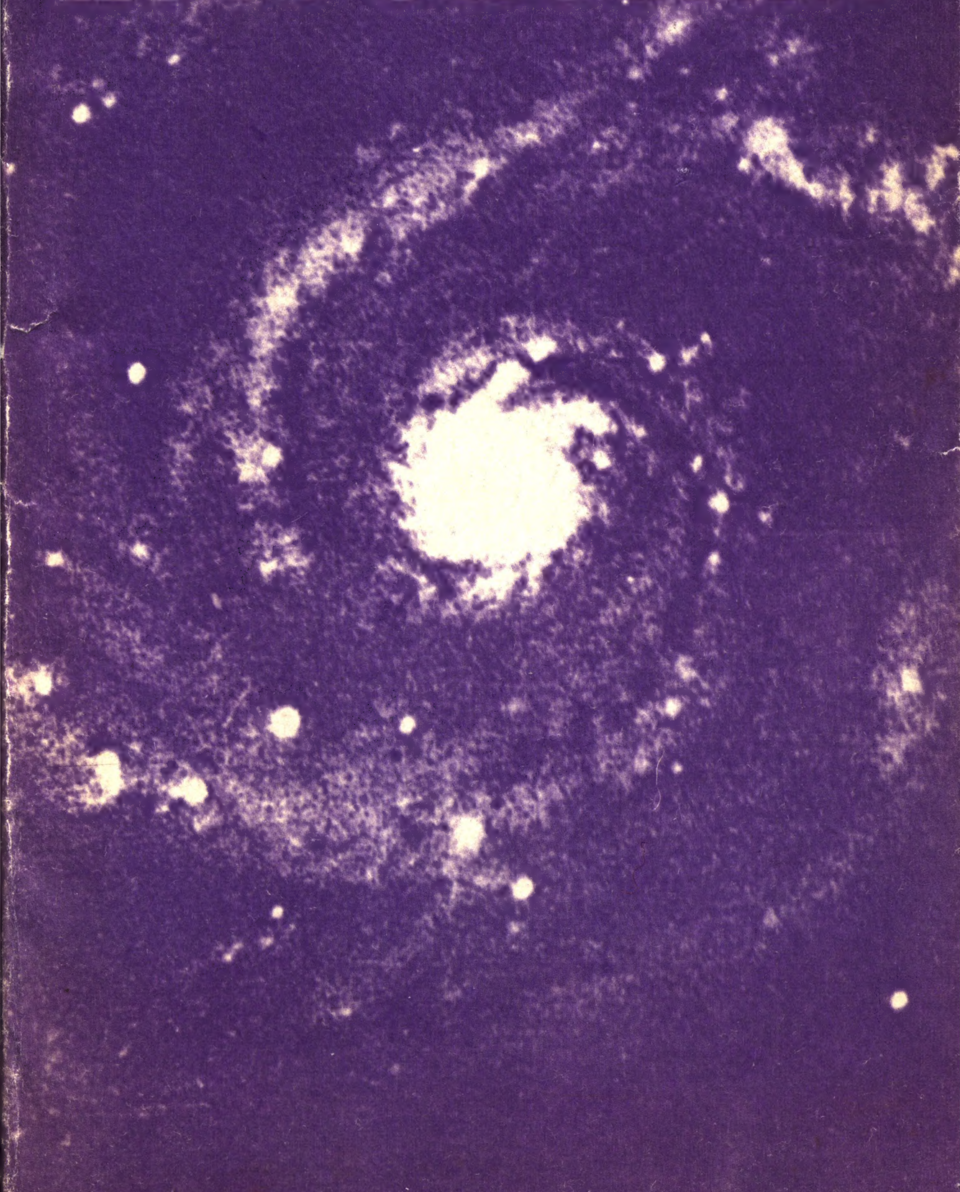
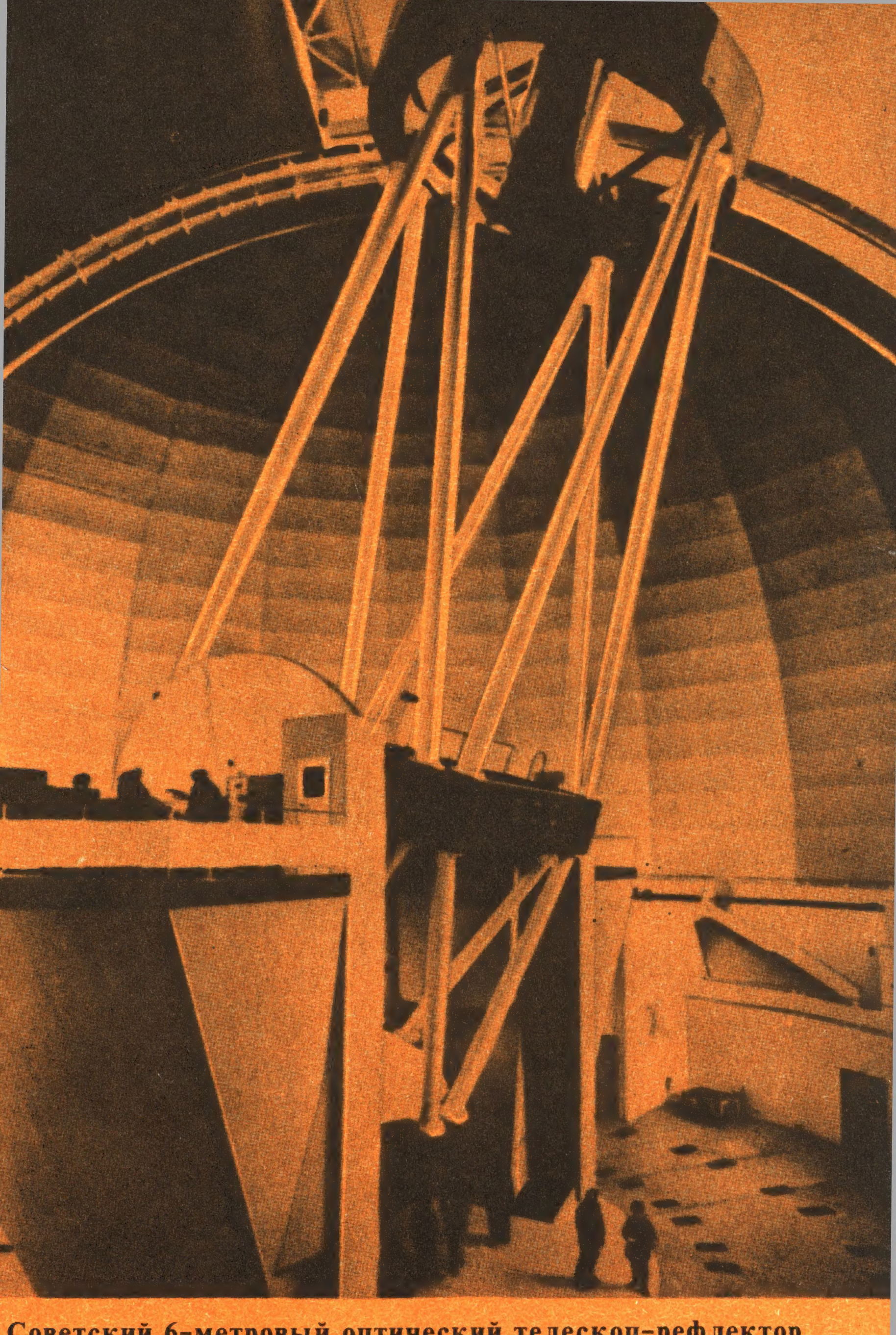
26

Е.П. ЛЕВИТАН

АСТРОНОМИЯ





Советский 6-метровый оптический телескоп-рефлектор

Советский радиотелескоп (РАТАН-600)

Круговой отражатель

Геодезические знаки

Облучатели

Поворотный круг

Рельсы

Плоский отражатель

Рельсы

Облучатели

Схема размещения основных частей радиотелескопа

Автоматическая станция «Венера-10»

Орбитальный аппарат

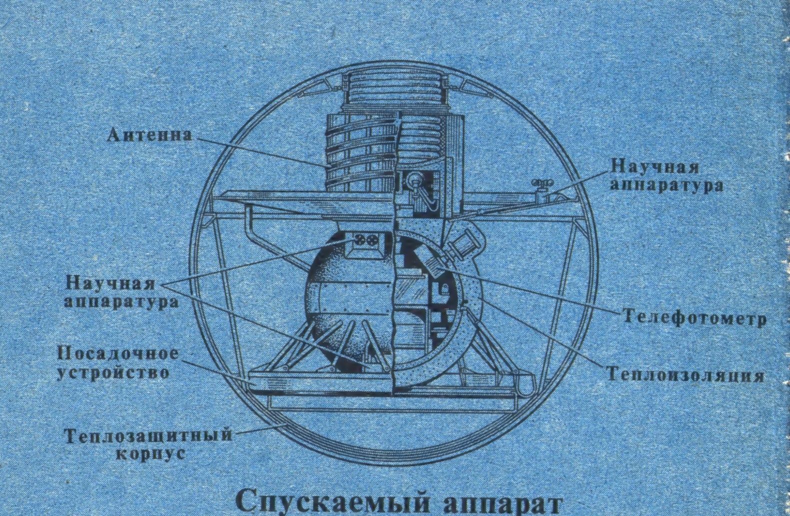
Спускаемый аппарат

Солнечная батарея

Научная аппаратура

Научная аппаратура

Научная аппаратура



Спускаемый аппарат

Е. П. ЛЕВИТАН

АСТРОНОМИЯ

Одобрено Ученым советом
Государственного комитета СССР
по профессионально-
техническому образованию
в качестве учебного пособия
для средних профессионально-
технических училищ



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1979

ББК 22.6
Л 36

Левитан Е. П.

Л36 Астрономия: Учеб. пособие для сред. проф.-техн. училищ. — М.: Высш. школа, 1979. — 136с., ил. — (Профтехобразование. Астрономия).

20 коп.

Пособие написано в соответствии с программой курса астрономии для средних профтехучилищ. Основной учебный материал выделен в обязательном разделе книги. Этот раздел расчленен на 17 параграфов (по числу уроков астрономии). Кроме того, пособие содержит дополнительный материал к каждому параграфу, а также инструкции для выполнения астрономических наблюдений и справочные таблицы.

Изложение материала опирается на имеющиеся у учащихся знания по физике, математике, географии и обществоведению. Включен обширный дидактический материал, позволяющий преподавателю осуществлять проблемное и развивающее обучение. Пособие предназначено для средних профессионально-технических училищ.

Л $\frac{20601-268}{052(01)-79}$ 7—79 4306021200

52
ББК 22.6

Ефрем Павлович Левитан

АСТРОНОМИЯ

Научный редактор В. И. Седаков. Редактор М. М. Панурина. Оформление художника В. В. Гарбузова. Макет художника Э. А. Маркова. Художественный редактор В. П. Спирова. Технический редактор Н. В. Яшукова. Корректор Л. И. Маркова

ИБ № 1955

Изд. № СП-578. Сдано в набор 20.10.78. Подп. в печать 23.04.79. Т-09316. Формат 84 × 108/32. Бум. офсетная № 2. Гарнитура готик. Печать офсетная. Объем 7,14 усл. печ. л. + 0,13 усл. п. л. вкладка. 7,50 уч.-изд. л. + 0,19 уч.-изд. л. вкл. Тираж 100 000 экз. Зак. № 797. Цена 20 коп.

Издательство «Высшая школа», Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.

ЧТО ВЫ УЗНАЕТЕ, ИЗУЧИВ КУРС АСТРОНОМИИ **7**
КАК РАБОТАТЬ С УЧЕБНЫМ ПОСОБИЕМ **7**

ПЕРВЫЙ РАЗДЕЛ. **Основной учебный материал 9**

I. Введение в астрономию 9

§ 1. Предмет астрономии **9**
1. Что изучает астрономия. 2. Взаимосвязь астрономии и других наук. Значение астрономии. 3. Астрономические наблюдения и эксперименты. Упр. 1.
§2. Звездное небо и его изображение на звездных картах **15**
1. Созвездия. 2. Звездные величины. 3. Экваториальные координаты. Упр. 2.
§3. Изменение вида звездного неба **18**
1. Изменение вида звездного неба в течение суток. 2 Изменение вида звездного неба в течение года и годовое движение Солнца. Упр. 3.
Что вы должны запомнить, изучив первую тему курса **21**

II. Солнечная система 21

§ 4. Развитие представлений о Солнечной системе **21**
1. Астрономия в древности. 2. Геоцентрическая система мира. 3. Гелиоцентрическая система мира. 4. Борьба за гелиоцентрическое мировоззрение. Упр. 4.
§ 5. Законы движения небесных тел **25**
1. Законы Кеплера. 2. Обобщение Ньютоном законов Кеплера. 3. Открытие Нептуна — триумф небесной механики. Упр. 5.
§ 6. Определение расстояний до тел Солнечной системы и размеров этих небесных тел **29**
1. Относительные расстояния планет от Солнца. 2. Радиолокационный метод и лазерная локация. 3. Определение размеров тел Солнечной системы. Упр. 6.
§ 7. Движение Луны. Затмения **31**
1. Обращение и вращение Луны. 2. Фазы Луны. 3. Затмения. Упр. 7.
§ 8. Природа Луны **34**
1. Размеры, масса и средняя плотность. 2. Отсутствие атмосферы и воды. 3. Температурные условия. 4. Небо Луны. 5. Поверхность Луны. 6. Лунный грунт. Упр. 8.
§ 9. Планеты Солнечной системы **40**
1. Закономерности в Солнечной системе. 2. Планеты земной группы. 3. Планеты-гиганты. Упр. 9.
§ 10. Малые тела Солнечной системы **46**
1. Астероиды. 2. Кометы. 3. Метеорные тела и метеориты. Упр. 10.
§ 11. Общие сведения о Солнце **50**
1. Размеры, масса и средняя плотность. 2. Химический состав и физическое состояние вещества. 3. Солнечная постоянная и светимость Солнца. 4. Атмосфера Солнца.
§ 12. Солнечная активность и ее земные проявления **58**
1. Солнечная активность. 2 Проблема «Солнце — Земля». Упр. 11.
Что вы должны запомнить, изучив вторую тему курса **60**

III. Звезды и галактики 62

§ 13. Природа звезд **62**
1 Определение расстояний до звезд. 2. Цвет и температура звезд. 3. Спектры и химический состав звезд. 4. Абсолютные звездные величины и светимости звезд. Упр. 12.
§ 14. Двойные звезды. Массы и средние плотности звезд **65**
1. Понятие о двойных звездах.

2. Определение масс звезд. 3. Средние плотности звезд. Упр. 13.
§ 15. Нестационарные звезды **68**
1. Цефеиды. 2. Понятие о других физических переменных звездах. 3. Новые и сверхновые звезды. Упр. 14.
§ 16. Галактики **74**
1. Наша Галактика. 2. Другие галактики. 3. Радиогалактики и квазары. 4. Метагалактика и ее расширение. Упр. 15.
Что вы должны запомнить, изучив третью тему курса **79**
§ 17. Астрономическая картина мира (заключительный обзор) **79**

ВТОРОЙ РАЗДЕЛ. **Дополнительный материал 85**

1.1. Оптические телескопы **85**
1.2. Крупнейший в мире советский телескоп-рефлектор **85**
1.3. Радиотелескоп РАТАН-600 **86**
1.4. Простейший самодельный телескоп **87**
2.1. Мифы и легенды о созвездиях **88**
2.2. Краткий путеводитель по звездному небу **89**
3.1. Горизонтальные координаты **91**
3.2. Определение географической широты и долготы из астрономических наблюдений **92**
3.3. Понятие о календаре **92**
4.1. Из предисловия Николая Коперника к книге «О вращении небесных сфер» **93**
4.2. Из произведений М. В. Ломоносова **93**
5.1. Орбиты искусственных спутников Земли **94**
5.2. Траектории полетов к Луне и планетам **95**
6.1. Из истории определения расстояния до Солнца **96**
7.1. Приливные явления и их роль в движении Луны **97**
8.1. Как была впервые сфотографирована обратная сторона Луны **98**
8.2. Как была совершена первая лунная экспедиция **98**
8.3. Как «Луна-16» взяла и доставила на Землю лунный грунт **100**
9.1. Планета Земля **101**
9.2. Новое о Меркурии, Венере и Марсе **102**
10.1. Если вы нашли метеорит **105**
11.1. Источники энергии Солнца **106**
12.1. Электромагнитное излучение Солнца **108**
12.2. Корпускулярное излучение Солнца **109**
13.1. Межзвездная среда **110**
13.2. Спектральная классификация звезд **114**
14.1. Связь между основными физическими характеристиками звезд **114**
15.1. Звездные скопления **116**
16.1. Гипотеза «горячей Вселенной» **117**
17.1. Происхождение и развитие небесных тел **120**
17.2. Послания внеземным цивилизациям **124**

ТРЕТИЙ РАЗДЕЛ. **Практические работы и наблюдения 126**

§ 1. Необходимые пособия и инструменты **126**
§ 2. Задания к теме «Введение в астрономию» **127**
§ 3. Задания к теме «Солнечная система» **128**
§ 4. Задания к теме «Звезды и галактики» **130**

ЧЕТВЕРТЫЙ РАЗДЕЛ. **Справочный 131**

А. Таблицы **131**
Б. Примерные темы рефератов **136**
В. Рекомендуемая литература **136**

Об астрономии говорят, что она не нуждается в прикрасах. И это верно: трудно представить себе что-нибудь более увлекательное, чем познание тайн необъятной Вселенной. Возникнув в глубокой древности, астрономия прошла огромный путь в своем развитии и превратилась в одну из сложнейших физико-математических наук. Вам предстоит изучать лишь основы современной астрономии. Вы узнаете о том, что известно сейчас о строении Солнечной системы и природе входящих в ее состав небесных тел, получите представление об удивительном мире звезд и звездных систем, научитесь правильно объяснять многие наблюдаемые астрономические явления. Вы узнаете, как формируется новое научное знание в астрономии, как ученые определяют расстояния до небесных тел, их размеры, массы, температуру и химический состав, как, опираясь на материалистическую философию и достижения современной физики, создается астрономическая картина мира. Процесс познания Вселенной бесконечен. Поэтому вам предстоит изучить не только твердо установленные факты, законы и теории, но и познакомиться с некоторыми нерешенными проблемами астрономической науки, с обсуждаемыми в ней гипотезами и предположениями. Все это расширит ваш кругозор, поможет вам почувствовать себя современниками и участниками космической эры.

КАК РАБОТАТЬ С УЧЕБНЫМ ПОСОБИЕМ

Внимательно прочитайте оглавление. Обратите внимание на структуру пособия. Книга состоит из четырех разделов. Первый включает основной учебный материал. Второй содержит разнообразный дополнительный материал к каждому параграфу основного текста. В третьем разделе собраны практические задания по важнейшим темам. Наконец, четвертый раздел — справочный, в нем вы найдете таблицы, список литературы.

Прежде всего необходимо изучить основной материал, относящийся к данному уроку. Для этого недостаточно просто прочитать текст соответствующего параграфа. Нужно поработать над вопросами-заданиями, которые вы встретите перед текстом параграфа, внутри текста, в подрисуночных подписях и упражнениях после каждого параграфа. Вопросы-задания помогут вам определить, как вы усвоили основной материал. В конце каждой темы и всего курса выделено то, что вы должны особенно хорошо запомнить.

Большинство практических заданий, включенных в третий раздел, для своего выполнения требуют лишь подвижной карты звездного неба (она приложена к книге). Но есть и такие, для которых необходим «Школьный астрономический календарь» (постарайтесь приобрести его). Наблюдения — важнейшая составная часть курса астрономии. Не забывайте об этом и обязательно найдите время для самостоятельных наблюдений. У многих из вас могут быть

бинокли. Нетрудно самому сделать и простейший телескоп. Тогда вы, руководствуясь соответствующими заданиями, сумеете выполнять астрономические наблюдения не только невооруженным глазом, но и с помощью этих оптических инструментов.

Если, заинтересовавшись учебным материалом, вы пожелаете узнать больше того, что сказано в параграфе основного текста, прочитайте дополнительный материал к параграфу. Еще более углубить и расширить приобретенные знания вам поможет чтение рекомендуемых научно-популярных журналов и книг.

Приступая к работе с книгой, хорошо усвойте используемые в ней сигналы-символы:

1• — вопрос-задание, которое нужно обязательно выполнить;

21* — вопрос-задание (или упражнение) повышенной трудности (предназначено интересующимся);

III, 132 — таблица III, с. 132;

[5] — порядковый номер книги в списке рекомендуемой литературы;

9.2 — второе дополнение к § 9 основного текста.

Желаем вам больших успехов в учебе!

ПЕРВЫЙ РАЗДЕЛ

Основной учебный материал

I. ВВЕДЕНИЕ В АСТРОНОМИЮ

§ 1. ПРЕДМЕТ АСТРОНОМИИ

1•. *Постарайтесь вспомнить, при изучении каких учебных предметов вы уже встречались с различными сведениями из области астрономии.*

1. ЧТО ИЗУЧАЕТ АСТРОНОМИЯ. Вы уже знаете, что Солнце и движущиеся вокруг него небесные тела составляют Солнечную систему. Земля — одна из планет Солнечной системы. Планеты сами не светятся, а отражают солнечный свет. Даже в призменный бинокль заметны диски Венеры, Марса, Юпитера, Сатурна. Звезды, которые по своим размерам во много раз превосходят планеты, и в крупные телескопы видны как точки. Мы не можем рассмотреть диски звезд потому, что звезды отдалены от нас на очень большие расстояния.

Звезды — огромные раскаленные шары. В отличие от планет, они излучают собственный свет и тепло. В Солнечной системе есть лишь одна звезда — Солнце. Ночью невооруженным глазом можно увидеть одновременно до 3000 звезд. Это ничтожная доля от многих миллиардов звезд, образующих громадные звездные системы.

Небесные тела и их системы находятся в непрерывном движении, развитии и изменении. Они имеют свою историю, нередко насчитывающую миллиарды лет.

Наука, изучающая строение небесных тел, законы их движения и эволюции, называется астрономией («астрон» — звезда, «номос» — закон).

2. ВЗАИМОСВЯЗЬ АСТРОНОМИИ И ДРУГИХ НАУК. ЗНАЧЕНИЕ АСТРОНОМИИ. Современная астрономия — одна из фундаментальных наук о природе. Она имеет свой, только ей присущий, предмет исследования, а также характер-

ные для нее инструменты (прежде всего телескопы, с. 85) и методы исследования.

Астрономия возникла из *практических* потребностей человека. Она возникла раньше других наук, так как была, по словам Энгельса, «...уже из-за времен года абсолютно необходима для пастушеских и земледельческих народов»[1]. Маркс подчеркивал, что «необходимость вычислять периоды подъема и спада воды в Ниле создала египетскую астрономию...»[2]. Действительно, еще семь тысяч лет назад египтяне научились согласовывать свой календарь со звездой Сириус, заметив, что приблизительно в день нового года, начинавшегося с момента разлива Нила, Сириус появляется над горизонтом перед самым восходом Солнца.

Развитие сухопутных и морских путешествий было невозможно без ориентировки. С давних пор в далеких путешествиях люди использовали для ориентировки ночью звезды, а днем — Солнце.

Проходили века и тысячелетия, а астрономия продолжала служить людям. Астрономические наблюдения и сейчас используются для решения таких важных практических вопросов, как измерение времени, составление точных географических карт и выполнение разнообразных геодезических работ. Специальные разделы практической астрономии — *мореходная* и *авиационная* — необходимы штурманам морских и воздушных кораблей.

Однако этим далеко не исчерпывается в настоящее время практическое значение астрономии. Новые требования к астрономии предъявляет и космонавтика. Нужно уметь с большой точностью определять расстояния до различных тел Солнечной системы и рассчитывать оптимальные траектории полета космических ракет. Ориентирами при полетах космических кораблей служат Солнце, самые яркие звезды, Земля и другие планеты.

Изучение Луны, метеоритов и планет Солнечной системы играет всевозрастающую роль в изучении Земли. А с искусственных спутников Земли и орбитальных научных станций теперь изучают Землю теми же методами (визуальные наблюдения, фотографирование, спектральные и радиофизические исследования), которые обычно применяют в астрономии.

Астрономия связана с физикой и математикой, космонавтикой и геофизикой, химией и биологией, философией и научным атеизмом. Исключительное значение для развития астрономии имели изобретение телескопа, открытие спектрального анализа, появление радиофизических методов

[1]*Маркс К., Энгельс Ф.* Соч. 2-е изд., т. 20, с. 500.
[2]*Маркс К., Энгельс Ф.* Соч. 2-е изд., т. 23, с. 522.

исследования, электронно-вычислительных машин и, наконец, запуски искусственных спутников Земли и космических ракет.

Одна из ведущих областей астрономии — *астрофизика.* Она возникла еще в прошлом веке, но сейчас, в период научно-технической революции, развивается особенно бурно. Астрофизика не только использует достижения земной физики, но и обогащает последнюю ценными сведениями о состояниях вещества, находящегося в условиях очень высоких и очень низких температур, давлений, плотностей, гравитационных и магнитных полей. Вселенная как бы становится грандиозной космической лабораторией, где сама природа дает возможность изучать на основе познанных человеком законов физики поведение вещества в условиях, резко отличающихся от земных.

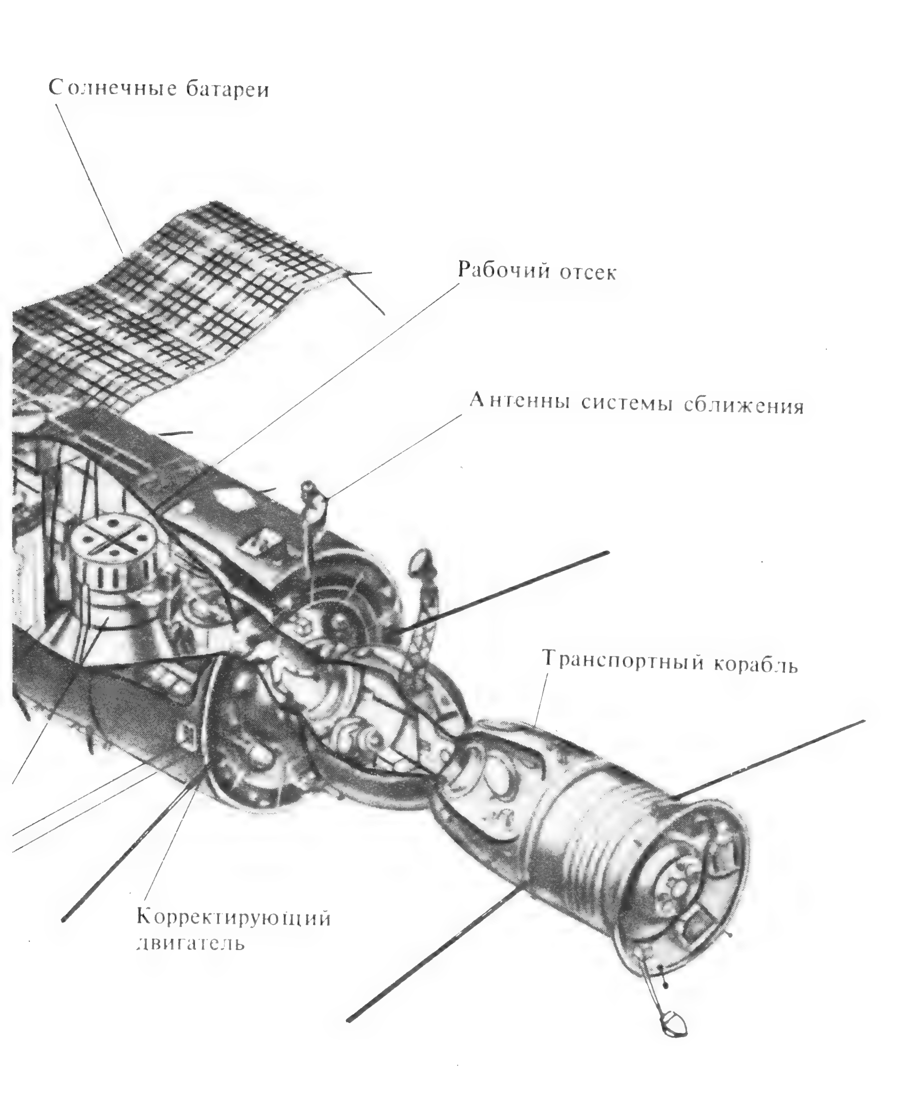
Астрономия имеет бóльшое значение для формирования материалистического мировоззрения. Классики марксизма-ленинизма в своих произведениях неоднократно обращались к достижениям астрономической науки, когда нужно было наиболее наглядно и убедительно проиллюстрировать важнейшие философские положения. Выявляя место человека во Вселенной и помогая постичь сущность происходящих во Вселенной процессов, астрономия наряду с другими науками о природе составляет естественнонаучную основу диалектико-материалистического мировоззрения.

Астрономия имеет большое атеистическое значение. Как вам известно из курсов истории и обществоведения, церковь на протяжении многих веков яростно боролась против развивающейся науки и, в частности, против астрономии. В «священных» книгах (Библия, Коран и др.) отражены наивные представления людей далекого прошлого о строении мира и о сотворении его богом. Данные современной астрономии позволяют убедительно показать несостоятельность религиозного мировоззрения, а также нелепость многочисленных суеверий и предрассудков, связанных с различными астрономическими явлениями (затмения Солнца и Луны, появления комет, новых звезд и т. п.). Таким образом, знать основы астрономии необходимо и для того, чтобы иметь правильное научное мировоззрение, которым должен быть вооружен каждый строитель коммунизма.

3. АСТРОНОМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ. Основной источник информации о небесных телах и явлениях, происходящих во Вселенной, — *наблюдения*. Они проводятся в специальных научно-исследовательских центрах — *обсерваториях,* оснащенных современными инструментами. В Советском Союзе несколько десятков астрономических обсерваторий. Крупнейшие из них: Пулковская в Ле-



Рис. 1. Научно-исследовательский комплекс «Салют-6» — «Союз»


Солнечные батареи
Рабочий отсек
Антенны системы сближения
Транспортный корабль
Корректирующий двигатель

нинграде, Крымская, Бюраканская (вблизи Еревана), Специальная астрофизическая обсерватория (на Северном Кавказе), Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга (в Москве) и ряд других.

Даже в хорошую погоду всегда неспокойная атмосфера искажает изображения небесных светил и ограничивает возможности наземных телескопических наблюдений. Часть излучения небесных светил поглощается атмосферой. Особенно сильно поглощаются инфракрасные, ультрафиолетовые и рентгеновские лучи. Как же исследовать небесные тела в этих лучах? Только с помощью приборов, установленных на стратостатах, искусственных спутниках Земли и космических ракетах.

Благодаря *внеатмосферным наблюдениям* небесные тела можно исследовать во всем спектре электромагнитного излучения — от гамма- и рентгеновских лучей с длиной волны менее стомиллионной доли сантиметра до радиоволн с длиной волны в сотни метров и даже километры. Напомним, что наш глаз воспринимает излучение («видимый свет») в пределах от 0,4 до 0,75 мкм.

Начало космической эры, ознаменованное 4 октября 1957 г. запуском первого в мире советского искусственного спутника Земли (I ИСЗ), открыло принципиально новый путь для развития астрономии. Космонавтика не только дополняет и обогащает наземную астрономию данными внеатмосферных наблюдений, но и впервые за всю историю астрономии позволяет проводить эксперименты в околоземном пространстве и на ближайших к Земле небесных телах. Вместе с тем развитие космонавтики стимулирует прогресс во многих «земных» областях науки и техники (приведите примеры).

Большие перспективы в развитии внеатмосферной астрономии открывают наблюдения и эксперименты, выполняемые на долговременных научных орбитальных станциях. На борту научно-исследовательского комплекса «Салют-6» — «Союз» (рис. 1) советские космонавты совершили в 1977—1978 гг. самые длительные в истории космонавтики полеты. Программа 96-суточного полета включала подготовку, запуск и проведение полетов станции «Салют-6», транспортных кораблей «Союз-26», «Союз-28» и грузового корабля «Прогресс-1». В течение 7 дней на борту комплекса работал международный экипаж в составе советских космонавтов и их чехословацкого коллеги.

В канун 61-й годовщины Великого Октября был завершен 140-суточный полет. Со станцией «Салют-6» были осуществлены стыковки космических кораблей «Союз-29», «Союз-30», «Союз-31», автоматических грузовых кораблей «Прогресс-2», «Прогресс-3», «Прогресс-4» и перестыковка корабля «Союз-31».

На борту комплекса «Салют-6» — «Союз» работали международные экипажи с участием космонавтов ПНР и ГДР. Во время полетов на «Салют-6» космонавты успешно выполнили многочисленные астрофизические, медико-биологические, технологические и геофизические исследования.

Познание Вселенной немыслимо без объединения усилий ученых многих стран. Международное сотрудничество ученых в области исследования Вселенной сближает народы разных стран, способствует укреплению и упрочению мира на нашей планете.

Подобно тому как без демонстрационных опытов и лабораторных работ нельзя глубоко усвоить сущность физических явлений и законов, без астрономических наблюдений неполноценным будет овладение основами астрономии. Простейшие наблюдения (например, ознакомление со звездным небом) можно выполнять без каких-либо инструментов, невооруженным глазом. Успешно справиться с этой работой вам помогут подвижная карта звездного неба (с. 126) и «Школьный астрономический календарь» (с. 126). Наблюдения небесных светил могут быть выполнены с помощью призменного бинокля, а также со школьного или самодельного телескопа (с. 87). Такие наблюдения запомнятся надолго, и нередко, именно благодаря им, люди, став взрослыми, на многие годы остаются любителями астрономии.

Упражнение 1. 1. Что такое «астрономия»? 2. Зачем нужно знать астрономию? 3. Как астрономы изучают небесные тела? 4. Сравните основные методы исследования в астрономии и физике. 5. Как взаимно обогащают друг друга астрономия и физика, астрономия и космонавтика? 6. Попробуйте начертить схему, показывающую взаимосвязь астрономии и других наук. 7. Выполните задания 1—4 (с. 127).

§ 2. ЗВЕЗДНОЕ НЕБО И ЕГО ИЗОБРАЖЕНИЕ НА ЗВЕЗДНЫХ КАРТАХ

2•. *Какие созвездия и звезды вам известны, и можете ли вы найти их на небе?*

1. СОЗВЕЗДИЯ. Звездное небо в безоблачную и безлунную ночь в открытой местности вдали от городского освещения представляет собой красивейшее зрелище. Кажется, что невозможно разобраться в картине звездного неба. Но так ли это?

Очень давно люди мысленно стали объединять звезды в фигуры — *созвездия*, называя их именами героев древних мифов и легенд, животных или предметов (с. 88). В распо-

ложении звезд в созвездиях обычно трудно найти что-либо общее с их названиями. Поэтому при изучении звездного неба полезно запоминать характерные фигуры, образованные самыми яркими звездами важнейших созвездий. Так, зная, что семь ярких звезд созвездия Большой Медведицы расположены в виде ковша, каждый может легко найти это созвездие на небе (с. 89).

В настоящее время четко определены *границы* каждого из 88 созвездий. Поэтому, например, к созвездию Большой Медведицы относятся не только семь ярких звезд ковша, но и много слабых. Принадлежность звезд к тому или иному созвездию определяется лишь тем, что наблюдатель, находящийся на Земле или в пределах Солнечной системы, видит эти звезды по соседству. На самом деле это «соседство» только кажущееся, а в пространстве звезды находятся на огромных расстояниях друг от друга.

Звезды каждого созвездия обозначают буквами греческого алфавита: α (альфа) — обычно самая яркая, β (бета) — следующая по блеску, затем γ (гамма), δ (дельта), ε (эпсилон), ζ (дзета), η (эта) и т. д. Некоторые звезды имеют и собственные имена: Полярная (α Малой Медведицы), Вега (α Лиры), Сириус (α Большого Пса) и ряд других (II, 132).

2. ЗВЕЗДНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ. В далекие времена, когда люди еще ничего не знали о размерах звезд, яркие звезды назвали звездами первой величины (сокращенное обозначение 1^m); слабые звезды, едва различимые невооруженным глазом, — звездами шестой величины (6^m). Конечно, «звездная величина» не имеет отношения к размерам звезды. Это лишь освещенность, создаваемая светилом в месте наблюдения. В отличие от принятых в физике люксов, освещенность в астрономии по традиции выражают в звездных величинах. Для более точной оценки блеска используют *дробные* звездные величины ($2{,}3^m$; $3{,}5^m$ и т. д.). Блеск звезды 6^m ровно в 100 раз меньше блеска звезды 1^m. Отсюда следует, что отношение блеска звезд двух соседних звездных величин есть $\sqrt[5]{100} = 2{,}512 \approx 2{,}5$. Зная это, вы легко сумеете сравнить блеск звезд с известными звездными величинами.

Например, взяв из таблицы VII (с. 134) звездные величины Капеллы ($m_1 = 0{,}2^m$) и Денеба ($m_2 = 1{,}3^m$), найдем, что Капелла ярче Денеба в $2{,}512^{\,m_2 - m_1} = 2{,}512^{1{,}1}$ раза. Обозначив эту величину через x, вычислим ее значение: $x = 2{,}512^{1{,}1}$; $\lg x = 1{,}1 \cdot \lg 2{,}512 = 1{,}1 \cdot 0{,}4 = 0{,}44$; $x = 2{,}75$.

Светила, блеск которых превосходит блеск звезд 1^m, имеют *нулевые* и *отрицательные* звездные величины (0^m, -1^m и т. д.). К ним относятся несколько самых ярких звезд и планет, а также, конечно, Солнце (-27^m) и Луна (-13^m).

Шкала звездных величин продолжается и в сторону звезд, невидимых невооруженным глазом. Есть звезды 7^m, 8^m и т. д.

3•. *Во сколько раз Сириус ярче Полярной звезды?*

3. ЭКВАТОРИАЛЬНЫЕ КООРДИНАТЫ. Из курса географии вы знаете, что местонахождение любого пункта на Земле однозначно определено, если указана его *географическая широта* (φ), отсчитываемая от экватора, и *географическая долгота* (λ), отсчитываемая от нулевого меридиана.

Положение любой звезды на звездной карте (и на звездном небе!) тоже определяется двумя координатами. Внимательно посмотрите на звездную карту, вложенную в книгу. Вы увидите на ней координатную сетку. Сетка небесных координат сходна с сеткой географических координат: *земным параллелям* соответствуют *небесные* параллели, *меридианам* — *круги склонения*, северному полюсу *Земли* — северный «полюс *мира*», *земному* экватору — *небесный* экватор. Небесный экватор отстоит от полюса мира на 90°. Вблизи северного полюса мира находится *Полярная звезда*. Небесная координата, аналогичная географической широте, называется *склонением* светила и отсчитывается в обе стороны от небесного экватора к северному и южному полюсам от 0 до 90°. Северное склонение считается положительным, а южное — отрицательным.

4•. *В каких пределах заключены склонения звезд, нанесенных на вашу карту звездного неба?*

Небесная координата, аналогичная географической долготе, называется *прямым восхождением*. Прямое восхождение, как и географическую долготу, можно выражать не в градусах (от 0 до 360°), а в единицах времени (от 0 до $24^ч$), зная, что за 24 часа Земля (а нам кажется, небосвод!) делает один оборот вокруг своей оси. Значит, 24 часа соответствуют 360°, 1 час — 15°, 1 минута — 15′, 1 секунда — 15″.

Найдите на небесном экваторе *точку весеннего равноденствия* (♈). В этой точке центр солнечного диска, перемещаясь в течение года на фоне звезд, бывает в день весеннего равноденствия (21 марта). От ♈ вы и будете отсчитывать на карте прямое восхождение светил (по часовой стрелке).

Склонение (δ) и прямое восхождение (α) называются *экваториальными координатами*. Они и положены в основу составления звездных карт, атласов, каталогов.

Упражнение 2. 1. Как вы думаете, можно ли долететь до какого-нибудь созвездия? 2. Какая из звезд ярче — звезда 2-й звездной величины или звезда 5-й величины? 3. Выясните собственные названия звезд, у которых: $\delta = 20°$, $\alpha = 14{,}2^ч$? $\delta = 16{,}3°$, $\alpha = 4{,}5^ч$? 4. Определите по карте эквато-

риальные координаты звезд α Лебедя, α Возничего, α Девы и сравните с данными табл. VII, 134. 5. Выполните задания 5—7 (с. 127—128).

§ 3. ИЗМЕНЕНИЕ ВИДА ЗВЕЗДНОГО НЕБА

1. ИЗМЕНЕНИЕ ВИДА ЗВЕЗДНОГО НЕБА В ТЕЧЕНИЕ СУТОК.

5•. *Установите звездную карту на 19 ч, 21 ч, 23 ч данного дня. Изменяется ли вид звездного неба? Разберемся в причине этого явления.*

Вы знаете, что Солнце восходит в восточной части горизонта, медленно поднимается; в полдень, находясь над точкой юга, достигает наибольшей высоты (*кульминирует*), а затем опускается к горизонту и заходит в его западной части. Это суточное движение Солнца.

Суточное движение совершают и другие светила — Луна, планеты, звезды. Взаимное расположение звезд не меняется: усыпанный звездами небосвод вращается как единое целое.

Суточное движение наиболее ярких звезд нетрудно запечатлеть на фотографической пластинке. Для этого лучше всего сфотографировать неподвижным аппаратом область неба вблизи Полярной звезды (рис. 2). Чем продолжительнее будет экспозиция, тем бо́льшую дугу прочертит звезда.

Суточное вращение небосвода — *видимое явление*. Оно вызвано тем, что в действительности вращается земной шар. Мы не замечаем вращения Земли и видим лишь его отражение — суточное движение светил (с. 91).

На рис. 2 видно, что вблизи центра концентрических дуг (северного полюса мира) выделяется след, оставленный Полярной звездой. Если стать к ней лицом, то перед вами на горизонте будет точка севера, сзади — точка юга, справа — восток, слева — запад.

В средних широтах некоторые звезды при своем суточном движении никогда не заходят за горизонт. Такие звезды называются *незаходящими*. Звезды, которые восходят и заходят, называются *восходящими* и *заходящими* звездами. Но есть и такие звезды, которые вообще не появляются над горизонтом данной местности. Это *невосходящие* звезды. Например, с территории СССР не видно созвездие Южного Креста, которое украшает небо южного полушария Земли (с. 92).

6•. *Выясните с помощью подвижной карты звездного неба, какие созвездия являются незаходящими в вашей местности.*

2. ИЗМЕНЕНИЕ ВИДА ЗВЕЗДНОГО НЕБА В ТЕЧЕНИЕ ГОДА И ГОДОВОЕ ДВИЖЕНИЕ СОЛНЦА.

7•. *Воспользовавшись подвижной картой звездного неба, выясните, какие созвездия можно наблюдать в вашей местности в 21 ч в начале января, мая, июля, сентября, ноября.*

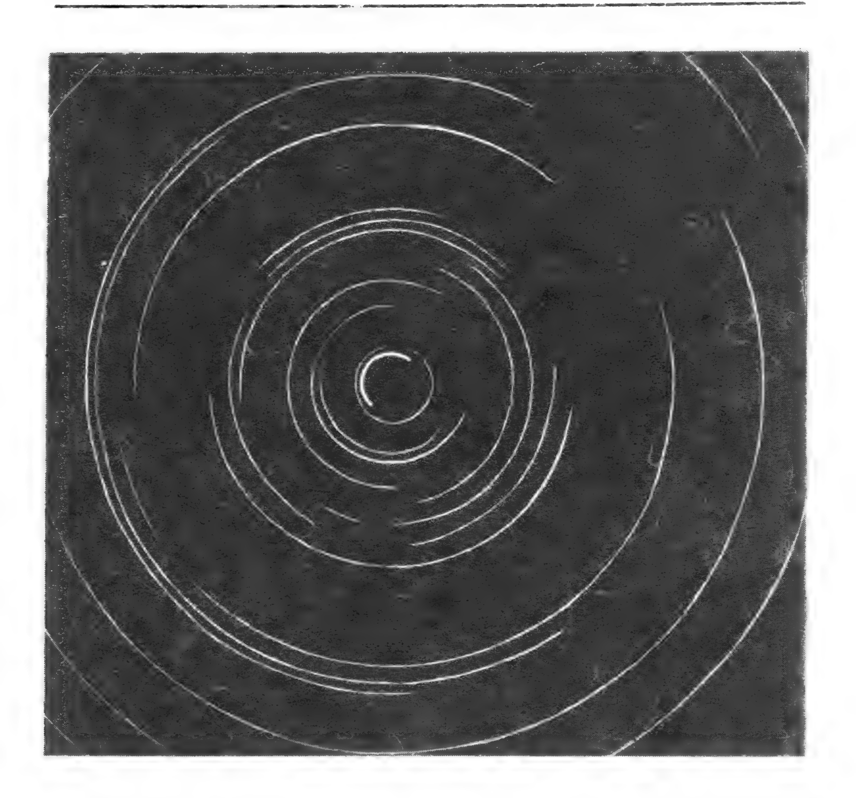


Рис. 2. Фотография околополярной области неба

Как вы убедились, в одно и то же время суток в данном месте Земли вид звездного неба в различное время года бывает неодинаков.

Изменение вида звездного неба в течение года — следствие движения Земли вокруг Солнца: мы непрерывно перемещаемся вместе с Землей, и Солнце все время проецируется на различные участки звездного неба (рис. 3). На протяжении года Солнце последовательно проходит через следующие созвездия: Рыбы, Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Весы, Скорпион, Стрелец, Козерог, Водолей. Они называются *зодиакальными* (от греческого слова «животное», хотя, как вы заметили, среди названий этих созвездий есть не только названия животных).

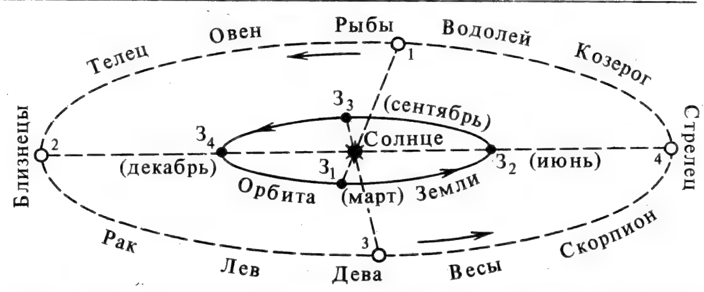


Рис. 3. Действительное движение Земли по орбите и видимое годовое движение Солнца по эклиптике. *В каком зодиакальном созвездии находится Солнце в феврале?*

8•. *Найдите на звездной карте 12 зодиакальных созвездий и выделите цветным карандашом проходящую через них линию годового движения Солнца — эклиптику.*

Нетрудно сообразить, что в пространстве плоскость эклиптики есть не что иное, как плоскость, в которой Земля движется вокруг Солнца, т. е. плоскость земной орбиты. Ось Земли наклонена к плоскости орбиты под углом 66,5°. Значит, плоскость экватора Земли наклонена к плоскости эклиптики под углом 23,5°.

На звездной карте видно, что линии небесного экватора и эклиптики пересекаются в двух точках. Это точки *весеннего* (♈) и *осеннего* (♎) *равноденствия*. В них Солнце соответственно бывает 21 марта (начало астрономической весны) и 23 сентября (начало астрономической осени). В эти даты день равен ночи. Дни начала зимы и лета соответственно приходятся на 22 декабря (день зимнего солнцестояния, самый короткий день года) и 22 июня (день летнего солнцестояния, самый длинный день года).

Вследствие перемещения Солнца по эклиптике непрерывно изменяются экваториальные координаты центра солнечного диска.

9•. *Пользуясь подвижной картой звездного неба, определите приближенные экваториальные координаты Солнца в дни равноденствий и солнцестояний.*

Свой путь по эклиптике Солнце совершает за 365,2422 сут (или 365 сут 5 ч 48 мин 46,1 с). Этот промежуток времени называется *тропическим годом* (с. 92). *Секунда* — это 1/31556925,9747 часть тропического года.

Упражнение 3. 1. Почему меняется вид звездного неба в течение суток? 2. Почему меняется вид звездного неба в течение года? 3. Выполните задания 8 и 9 (с. 128).

Что вы должны запомнить, изучив первую тему курса.

1. Астрономия изучает небесные тела, их системы, явления и процессы, происходящие во Вселенной.
2. Астрономия — одна из фундаментальных наук о природе.
3. Астрономия неразрывно связана с рядом наук (прежде всего с физикой и космонавтикой).
4. Астрономия имеет важное значение для развития многих наук, непрерывно возрастает народнохозяйственное значение космических исследований
5. Астрономия имеет огромное значение для формирования научного мировоззрения и атеистического воспитания трудящихся.
6. Основа астрономии — наземные и внеатмосферные наблюдения, а также эксперименты в космическом пространстве и на других небесных телах.
7. Созвездие — это видимая картина расположения звезд в пределах данного участка неба.
8. Звездная величина характеризует блеск звезды (т. е. создаваемую ею освещенность на Земле), а не истинные размеры звезды.
9. Подобно тому как на земном шаре положение пункта определяется его географическими координатами, склонение и прямое восхождение звезд позволяет однозначно определить их местонахождение на небосводе, а также создать звездные карты.
10. Суточное вращение небосвода — отражение вращения Земли вокруг своей оси.
11. Годовое перемещение Солнца по эклиптике и изменение вида звездного неба в течение года — следствие орбитального движения Земли.

II. СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

§ 4. РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ

1. АСТРОНОМИЯ В ДРЕВНОСТИ. Астрономические явления и сами небесные светила входили в жизнь наших далеких предков как часть природы. В ту отдаленную эпоху, когда люди были совершенно бессильны перед природой, возникла вера в сверхъестественные силы, которые будто бы создали мир и управляют им. На протяжении многих веков обожествлялись Луна и Солнце, им поклонялись, как живым и могущественным существам. Сторонники лженауки — астрологии, процветающей и ныне во многих капиталистических странах, пытаются убедить легковерных людей в том, что по расположе-

нию планет в зодиакальных созвездиях можно предсказать судьбу одного человека и даже целого государства!

Первые представления о строении мира были очень наивными, они тесно переплетались с религиозными верованиями, в основу которых было положено разделение мира на две части — земную и небесную, причем «земное» противопоставлялось «небесному». Считали, что существует «твердь небесная», к которой прикреплены звезды, а Землю принимали за неподвижный центр мироздания.

2. ГЕОЦЕНТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МИРА. Представление о центральном положении Земли во Вселенной впоследствии было положено в основу *геоцентрической* системы мира (Земля — по гречески «ге»). Так, крупнейший греческий философ и ученый-энциклопедист *Аристотель* (IV до н. э.), уже знавший, что Земля имеет шарообразную форму, считал, что Земля неподвижна, а Луна, планеты, Солнце и звезды прикреплены к хрустальным сферам, вращающимся вокруг Земли. Он отмечал, что если бы Земля двигалась, то это движение можно было бы обнаружить по изменению видимых положений звезд на небе. На самом деле такие кажущиеся (или параллактические) смещения звезд происходят, но из-за огромной отдаленности звезд они ничтожны по своей величине и были впервые обнаружены лишь в XIX в.

Достижения античной астрономии во II в. н. э. обобщил александрийский астроном *Клавдий Птолемей*. В его книге «Великое построение» подробно излагалась геоцентрическая система мира, согласно которой вокруг неподвижной Земли движутся Луна, Меркурий, Венера, Солнце, Марс, Юпитер, Сатурн и «сфера неподвижных звезд».

Геоцентрическая система мира много веков поддерживалась авторитетом церкви.

3. ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МИРА. Принципиально новое учение, основанное на представлении о том, что Земля вращается вокруг оси и обращается вокруг Солнца, было разработано великим польским ученым *Николаем Коперником* (1473—1543).

Свою систему мира Коперник изложил в книге «О вращениях небесных сфер», вышедшей в год его смерти (с. 93). Согласно учению Коперника, в центре мира находится не Земля, а Солнце. Вокруг Земли движется лишь Луна. Сама же Земля — третья (после Меркурия и Венеры) планета, обращающаяся вокруг Солнца. На бесконечно большом расстоянии от Солнца Коперник поместил «сферу неподвижных звезд». Система мира, предложенная Коперником, называется *гелиоцентрической* (Солнце — по гречески «гелиос»).

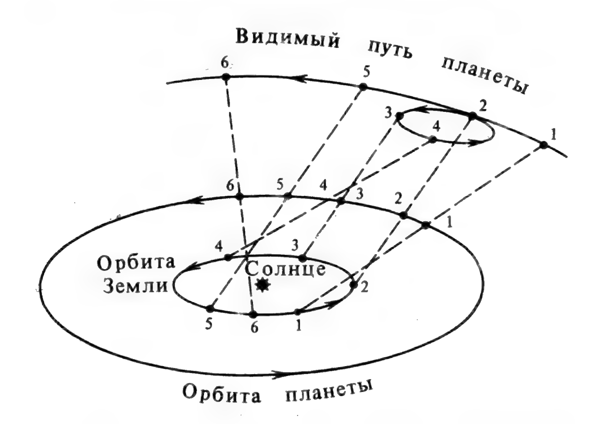


Рис. 4. *Выясните, как возникает наблюдаемое петлеобразное движение планеты*

Коперник четко разграничил видимые и действительные движения небесных тел. Просто и естественно он объяснил петлеобразное движение планет и нашел метод определения их относительных расстояний от Солнца. Например, петлеобразное движение планет становится понятным, если учесть, что наблюдатель, находясь на Земле, сам движется вокруг Солнца (рис. 4).

10•. ***Наибольшее видимое угловое удаление Венеры от Солнца 48°. Принимая орбиты Венеры и Земли за окружности, найдите расстояние до Венеры в единицах радиуса земной орбиты.***

Учение Коперника нанесло сокрушительный удар геоцентрической системе мира. Значение открытия Коперника далеко выходит за рамки астрономической науки. Оно дало мощный толчок развитию всего естествознания и материалистической философии.

Ф. Энгельс подчеркивал: «Революционным актом, которым исследование природы заявило о своей независимости... было издание бессмертного творения, в котором Коперник бросил — хотя и робко и, так сказать, лишь на смертном одре — вызов церковному авторитету в вопросах природы. Отсюда начинает свое летосчисление освобождение естествознания от теологии... С этого времени пошло гигантскими шагами также и развитие наук...»[1]

4. БОРЬБА ЗА ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКОЕ МИРОВОЗЗРЕНИЕ. Новое мировоззрение пробивало себе дорогу в ожесточенной

[1] *Маркс К., Энгельс Ф.* Соч. 2-е изд., т. 20, с. 347.

борьбе с религией. По приговору инквизиции в 1600 г. был сожжен в Риме выдающийся последователь Коперника итальянский философ *Джордано Бруно* (1548—1600). Бруно, развивая учение Коперника, утверждал, что во Вселенной нет и не может быть центра, что Солнце — это только центр Солнечной системы. Он высказал гениальную догадку о том, что звезды — такие же солнца, как наше, причем вокруг бесчисленных звезд движутся планеты, на многих из которых, возможно, существует жизнь. Ни продолжавшиеся более семи лет пытки, ни костер инквизиции не могли сломить волю Джордано Бруно, не заставили его отречься от нового учения.

В 1609 г. *Галилео Галилей* (1564—1642) впервые направил на небо телескоп и сделал открытия, наглядно подтверждающие правильность учения Коперника. На Луне Галилей увидел горы. Значит, поверхность Луны в какой-то степени сходна с земной, и не существует принципиального различия между «земным» и «небесным». Галилей открыл четыре спутника Юпитера. Их движение вокруг Юпитера опровергало ошибочное представление о том, что только Земля может быть центром движения небесных тел. Галилей обнаружил, что Венера, подобно Луне, меняет свой вид. Следовательно, Венера — шарообразное тело, которое светит отраженным солнечным светом. Изучая особенности изменения вида Венеры, Галилей подтвердил вывод Коперника о том, что Венера движется не вокруг Земли, а вокруг Солнца. На Солнце, олицетворявшем «небесную чистоту», Галилей открыл пятна и, наблюдая за ними, установил, что Солнце вращается вокруг своей оси. Следовательно, различным небесным телам (например, Солнцу) присуще осевое вращение. Наведя свой телескоп на Млечный Путь, Галилей обнаружил, что Млечный Путь — это множество слабых звезд, неразличимых невооруженным глазом. Стало быть, Вселенная значительно грандиознее, чем думали раньше.

Открытия Галилея умножили число сторонников гелиоцентрической системы мира и одновременно заставили церковь усилить их преследование. В 1616 г. книга Коперника «О вращениях небесных сфер» была внесена в список запрещенных книг, а изложенное в ней учение было объявлено противоречащим «священному писанию». Галилею запретили пропагандировать учение Коперника. Однако Галилей в 1632 г. все-таки опубликовал, проведя через рогатки цензуры, большую книгу «Диалог о двух главнейших системах мира», в которой сумел убедительно показать истинность гелиоцентрической системы. В 1633 г. Галилей предстал перед судом инквизиции. Престарелого ученого заставили подписать «отречение» от своих взглядов. Он был приговорен к пожиз-

ненному заключению, которое затем заменили надзором инквизиции. Но и после суда Галилей почти до конца своих дней продолжал научную работу.

Казнь Бруно, официальный запрет учения Коперника, суд над Галилеем не смогли остановить распространение идей гелиоцентризма. В Австрии *Иоганн Кеплер* (1571—1630) развил учение Коперника, открыв законы движения планет. Великий *Ньютон* (1642—1727) опубликовал свой знаменитый закон всемирного тяготения. В России учение Коперника смело поддерживал *М. В. Ломоносов* (1711—1765), который в 1761 г. открыл атмосферу на Венере, защищал идею множественности обитаемых миров и в остроумных стихах высмеивал церковных мракобесов (с. 93).

Упражнение 4. 1. Почему церковь поддерживала геоцентрическую систему мира? 2. В чем сущность и значение открытия Коперника? 3. Какое обоснование и развитие получили идеи гелиоцентризма в трудах Бруно, Галилея и Ломоносова? 4. В чем несостоятельность астрологических предсказаний? 5. Выполните задания 10—12 (с. 128).

§ 5. ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

1. ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА. С древнейших времен считалось, что небесные тела движутся по «идеальным кривым» — окружностям. В теории Коперника круговое движение также не подвергалось сомнению. Однако в XVII в. Кеплер доказал, что на самом деле орбиты небесных тел отличаются от окружностей. Кеплер не сомневался в правильности основ-

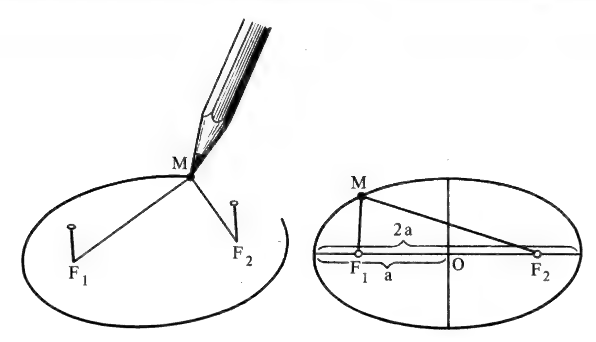


Рис. 5. Простой способ построения эллипса. *Закрепите в точках F_1 и F_2 булавки с привязанными к ним концами нити. Натягивая нить острием карандаша, начертите эллипс.* F_1 и F_2 — фокусы эллипса, отрезки F_1M и F_2M — радиусы-векторы, $F_1M + F_2M = \text{const} = 2a$ (по определению эллипса). $2a$ — большая ось, a — большая полуось, O — центр эллипса.

ных положений учения Коперника, но он знал, что существуют расхождения между предвычисленными положениями планет и наблюдениями. Особенно тщательно Кеплер изучал движение Марса. Итог многолетних трудов ученого — три основных закона движения планет.

Первый закон: каждая планета обращается вокруг Солнца по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце (рис. 5).

Сжатие эллипса характеризуется величиной отношения

$$e = \frac{c}{a}, \qquad (1)$$

где $c = F_1O = OF_2$. Величина e называется *эксцентриситетом* эллипса. Если $c = 0$ (фокусы совпадают с центром), то $e = 0$ и эллипс превращается в окружность радиусом a. Чем больше эксцентриситет, тем больше отличается эллипс от окружности. Орбиты Венеры и Земли близки к окружностям ($e_В = 0{,}007$, $e_З = 0{,}017$). Орбиты большинства других планет более вытянуты (VI, 134).

Ближайшая к Солнцу точка орбиты называется *перигелием,* а наиболее удаленная — *афелием*. По эллипсам движутся не только планеты, но и их спутники. Ближайшая к Земле точка орбиты Луны или какого-нибудь искусственного спутника Земли называется *перигеем*, а наиболее удаленная — *апогеем*. У орбит искусственных спутников Луны эти точки получили название периселений и апоселений.

Второй закон: радиус-вектор планеты в равные промежутки времени описывает равные площади (рис. 6).

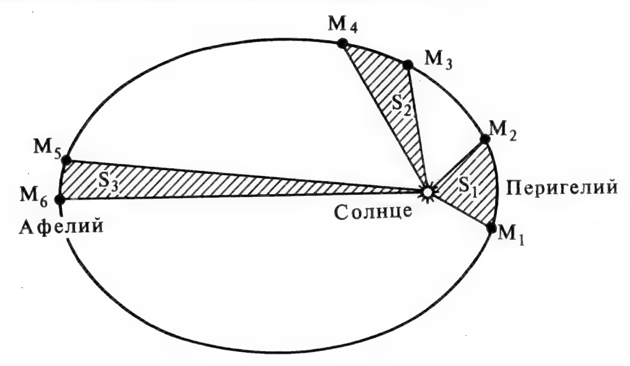


Рис. 6. Заштрихованные площади равны ($S_1 = S_2 = S_3$). Отрезки своей орбиты $\overset{\frown}{M_1M_2}$, $\overset{\frown}{M_3M_4}$, $\overset{\frown}{M_5M_6}$ планета проходит за одинаковое время. *Что вы можете сказать о скорости планеты вблизи перигелия и афелия?*

Теперь рассмотрим движение двух планет вокруг Солнца. Пусть a_1 и a_2 — большие полуоси их орбит; T_1 и T_2 — периоды обращения. Тогда в силу третьего закона Кеплера

$$\frac{T_1^2}{T_2^2}=\frac{a_1^3}{a_2^3}, \text{ т. е.} \qquad (2)$$

квадраты времен обращений двух планет относятся как кубы больших полуосей их орбит.

Период обращения планеты вокруг Солнца называется *сидерическим* (или звездным) периодом. Например, сидерический период Земли равен 1 году. Большая полуось орбиты планеты — это ее среднее расстояние от Солнца (убедитесь в этом!). Среднее расстояние Земли от Солнца принято в астрономии за единицу расстояния и называется *астрономической единицей* (а. е.):

$$1 \text{ а. е.} \approx 149{,}6 \cdot 10^6 \text{ км.} \qquad (3)$$

Обычно при вычислениях в формуле третьего закона Кеплера сидерические периоды выражают в годах, а средние расстояния планет от Солнца — в астрономических единицах. Покажем это на примере.

За 84 земных года Уран делает один оборот вокруг Солнца. Во сколько раз он дальше от Солнца, чем Земля?

$T_1 = 84{,}0$ года
$T_2 = 1{,}0$ год
$a_2 = 1{,}0$ а. е.

a_1 — ?

$$\frac{T_1^2}{T_2^2}=\frac{a_1^3}{a_2^3}; \quad a_1^3=\frac{T_1^2}{T_2^2}\cdot a_2^3; \quad a_1=a_2\sqrt[3]{\frac{T_1^2}{T_2^2}};$$

$$a_1=\sqrt[3]{84^2}\approx 19 \text{ а. е.}$$

11•. *За какое время Марс, находящийся от Солнца примерно в полтора раза дальше, чем Земля, совершает полный оборот вокруг Солнца?*

Законы Кеплера применимы не только к движению планет, но и к движению их естественных и искусственных спутников. Открытие законов Кеплера выявило замечательные закономерности в движении всех небесных тел Солнечной системы и позволило Ньютону найти силу, которая управляет движением планет. Закон всемирного тяготения, открытый Ньютоном в 1687 г., вам известен из курса физики:

$$F=\gamma\frac{m_1 m_2}{r^2}, \qquad (3)$$

где m_1 и m_2 — массы материальных точек, r — расстояние между ними, γ — гравитационная постоянная. (Сформулируйте закон всемирного тяготения!) Впоследствии Ньютон математическим путем вывел законы Кеплера.

2. ОБОБЩЕНИЕ НЬЮТОНОМ ЗАКОНОВ КЕПЛЕРА. Под действием силы тяготения одно небесное тело может двигаться вокруг другого по одной из следующих кривых — окружность, эллипс, парабола или гипербола. В этом заключается первый обобщенный Ньютоном закон Кеплера. Он имеет универсальный характер и справедлив не только для планет, но и для всех других естественных и искусственных небесных тел

Для определения важнейших физических характеристик небесных тел — их масс — используется обобщенный Ньютоном третий закон Кеплера:

$$\frac{T_1^2 (M_C + m_1)}{T_2^2 (M_C + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}, \qquad (4)$$

т. е. квадраты сидерических периодов планет, умноженные на сумму масс Солнца и планеты, относятся как кубы больших полуосей орбит планет. В формуле (4) M_C — масса Солнца; m_1, T_1 и a_1 — соответственно масса, период обращения и большая полуось орбиты первой планеты; m_2, T_2, a_2 — масса, период обращения и большая полуось второй планеты.

12•. *Покажите, что формула (2), полученная Кеплером из анализа наблюдений, есть частный случай формулы (4).*

Выясним, как с помощью (4) можно вычислить массу какой-нибудь планеты, у которой есть спутник. Для этого обозначим массы Солнца, планеты и ее спутника соответственно через M_C, m, m_1, периоды обращения планеты вокруг Солнца и спутника вокруг планеты — через T и T_1 и, наконец, средние расстояния планеты от Солнца и спутника от планеты — через a и a_1. Тогда третий закон Кеплера можно записать в виде

$$\frac{T^2 (M_C + m)}{T_1^2 (m + m_1)} = \frac{a^3}{a_1^3}.$$

Масса Солнца во много раз больше массы любой из планет, т. е. $M_C \gg m$. Масса планеты обычно также очень велика по сравнению с массой спутника (исключение составляют Земля и Луна!), т. е. $m \gg m_1$. Поэтому с достаточной степенью точности можно вычислить отношение массы Солнца к массе планеты по формуле

$$\frac{M_C}{m} = \left(\frac{T_1}{T}\right)^2 \left(\frac{a}{a_1}\right)^3. \qquad (5)$$

13•. *Деймос, один из спутников Марса, отстоит от планеты на расстоянии 23 500 км и совершает один оборот вокруг Марса за 30ч 18м.*

Зная среднее расстояние Земли от Солнца и сидерический период Земли, вычислите отношение масс Марса и Солнца.

3. ОТКРЫТИЕ НЕПТУНА — ТРИУМФ НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ. Строго эллиптическое движение возникает под действием притяжения одного тела. Но любая планета испытывает притяжение со стороны других планет. В результате возникают отклонения от эллиптической траектории, или *возмущения*. Раздел астрономии, исследующий движения небесных тел под действием их взаимного притяжения, называется небесной механикой. Законы Кеплера и закон всемирного тяготения — основные законы небесной механики.

В 1781 г. была открыта планета Уран. Орбита Урана оказалась очень «непослушной»: даже с учетом возмущений от планет получились какие-то необъяснимые отклонения от эллиптического движения. Ученые (француз Леверье и англичанин Адамс) предположили, что за Ураном существует планета, влияющая своим притяжением на движение Урана. Были вычислены координаты этой планеты, а 23 сентября 1846 г. немецкий астроном Галле действительно нашел эту планету! Так на «кончике пера» (по выражению Энгельса) был открыт Нептун. Даже после этого многие годы высказывались предположения о том, что закон всемирного тяготения «слишком прост», чтобы быть фундаментальным законом природы, и якобы нуждается в уточнении. Однако все развитие небесной механики и возникновение экспериментальной небесной механики — астродинамики, изучающей движение искусственных небесных тел (с. 94—96), — показало, что нет необходимости в уточнении закона всемирного тяготения.

Упражнение 5. 1. Сформулируйте законы Кеплера применительно к движению искусственного спутника Земли. 2. При каком условии можно вычислить массу планеты, пользуясь обобщенным третьим законом Кеплера?

§ 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ ДО ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ И РАЗМЕРОВ ЭТИХ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

Только на первый взгляд определение расстояний до небесных тел кажется неразрешимой проблемой. На самом деле найдено несколько путей ее решения. Рассмотрим некоторые из них.

1. ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ РАССТОЯНИЯ ПЛАНЕТ ОТ СОЛНЦА. Приняв расстояние Земли от Солнца за единицу, можно определить относительные расстояния других планет от

Солнца. Два способа определения относительных расстояний вам уже известны (с. 23и 27).

14•. *В чем заключаются эти способы?*

2. РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ МЕТОД И ЛАЗЕРНАЯ ЛОКАЦИЯ. На небесное тело посылают мощный кратковременный радиосигнал, а затем принимают отраженный сигнал. Скорость распространения радиоволн равна скорости света в вакууме. Поэтому если знать время, которое потребовалось сигналу, чтобы дойти до небесного тела и возвратиться обратно, то легко вычислить искомое расстояние. Радиолокацию Луны удалось осуществить еще в 40-х годах. Радиолокационные наблюдения позволили уточнить расстояния до Луны, Венеры, Меркурия, Марса, Юпитера, Солнца и значение астрономической единицы. О достигнутой сейчас точности не могли и мечтать астрономы прошлого (с. 96).

Исключительно точные измерения расстояний между точками лунной и земной поверхности проводят, используя установленный на Луне отражатель лазерных лучей. Эти измерения аналогичны радиолокационным. Отражатели находятся на советских луноходах и американских станциях.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ. При наблюдениях небесных тел Солнечной системы можно непосредственно измерить угол, под которым они видны. Зная угловой радиус светила ρ и расстояние до светила D (рис. 7), вычисляют линейный радиус R по формуле:

$$R = D \cdot \sin\rho. \qquad (6)$$

Упражнение 6. 1. Видимые угловые размеры Солнца и Луны примерно одинаковы (16′). Какой вывод вы можете сделать о соотношении линейных размеров и расстояний этих небесных тел? 2. Выполните задания 13 и 14 (с. **128**).

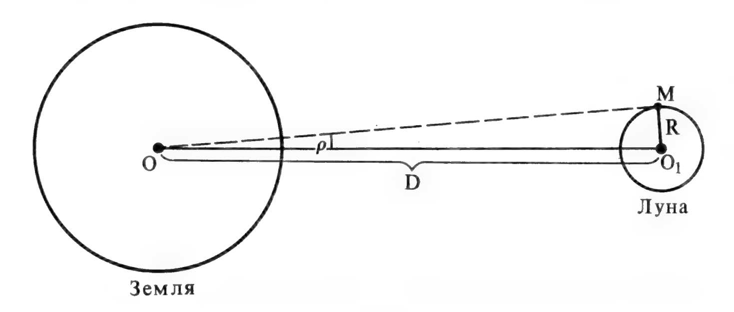


Рис. 7. К определению размеров небесных тел Солнечной системы

§ 7. ДВИЖЕНИЕ ЛУНЫ. ЗАТМЕНИЯ

1. ОБРАЩЕНИЕ И ВРАЩЕНИЕ ЛУНЫ. Плоскость орбиты Луны не совпадает с плоскостью орбиты Земли и образует с ней угол примерно 5°. Луна движется вокруг Земли по эллипсу (IV, 133).

15•. *Вычислите расстояние до Луны в перигее и апогее.*

Полный оборот вокруг Земли Луна совершает за 27,32 сут (*сидерический месяц*). За это же время Луна делает оборот вокруг собственной оси. В результате совпадения периодов обращения и вращения с Земли можно видеть только одну сторону Луны (с.97).

16•. *Изобразите на чертеже, как происходит движение Луны вокруг Земли.*

2. ФАЗЫ ЛУНЫ. Вид Луны непрерывно изменяется: мы, например, видим или узкий серп Луны, или половину диска, или «полную» Луну. Иногда на протяжении всей ночи Луна совсем не видна. Почему меняется вид Луны? Луна светит отраженным (рассеянным) солнечным светом. Одно полушарие Луны всегда освещено Солнцем, но с Земли освещенная часть Луны видна по-разному. Смена вида Луны (или лунных фаз) объясняется тем, что Луна занимает различное положение относительно Земли и Солнца.

Основные фазы Луны (рис. 8): *новолуние* — Луна на небе не видна; *первая четверть* — Луна имеет вид полудиска, обращенного в северном полушарии Земли выпуклостью вправо; *полнолуние* — виден весь диск Луны; *последняя четверть* — Луна имеет вид полудиска, обращенного вы-

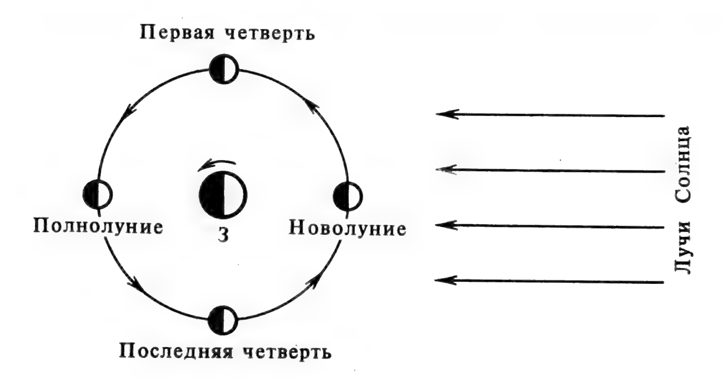


Рис. 8. Смена лунных фаз. *Выясните, какому взаимному расположению Солнца, Земли и Луны соответствуют основные фазы Луны*

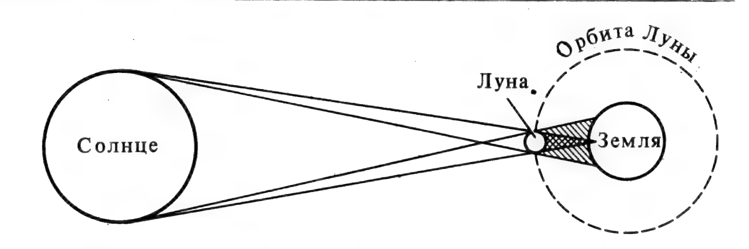


Рис. 9. Расположение Солнца, Луны и Земли во время солнечного затмения. *В какой фазе Луна*?

пуклостью влево. Промежуток времени между двумя последовательными одинаковыми фазами (например, новолуниями) составляет примерно 29,53 сут (*синодический месяц*).

Граница, отделяющая освещенную часть Луны от неосвещенной, называется *терминатором*. Когда Луна имеет вид узкого серпа (растущий серп — в западной части неба вскоре после захода Солнца; убывающий серп — на востоке перед восходом Солнца), можно рассмотреть неосвещенную Солнцем часть Луны, которая светится бледно-серым светом. Это отраженный (рассеянный) свет Земли. Он называется *пепельным светом*.

3. ЗАТМЕНИЯ. Когда при своем движении вокруг Земли Луна закрывает собой Солнце, наступает *солнечное затмение* (рис. 9).

Если же Луна попадает в тень Земли, то происходит *лунное затмение* (рис. 10).

Виды солнечных затмений: *частное* (Луна закрывает только часть солнечного диска); *полное* (Луна полностью закрывает диск Солнца) и *кольцеобразное* (вокруг черного диска Луны видно яркое кольцо — не закрытая Луной солнечная поверхность).

Виды лунных затмений: *частное* и *полное*.

17•. *Наиболее продолжительным (примерно 7 мин) полное солнечное затмение бывает, когда Земля находится вблизи афелия своей орбиты, а Луна — вблизи перигея. Почему?*

18* *При каких обстоятельствах происходит кольцеобразное солнечное затмение?*

19•. *Как вы думаете, почему затмения не происходят каждый месяц? Чаще бывает только два солнечных и два лунных затмения в год.)*

В данном месте Земли лунные затмения наблюдаются чаще, чем солнечные. Это объясняется тем, что лунные затмения видны на всей половине Земли, обращенной к Луне, а полные солнечные затмения только в узкой полосе. В данной точке

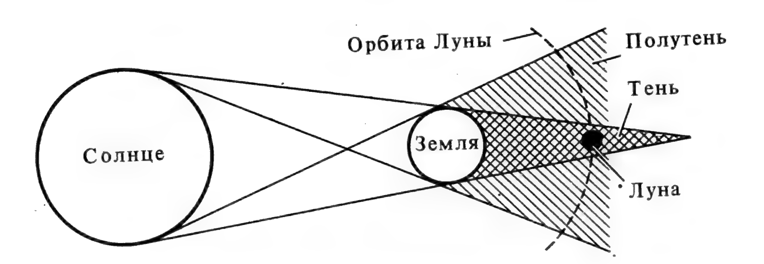


Рис. 10. Расположение Солнца, Земли и Луны во время лунного затмения. *В какой фазе Луна?*

земной поверхности полные солнечные затмения редки. Например, в Москве полное солнечное затмение можно будет увидеть (если не помешает плохая погода!) только 16 октября 2126 г. Пользуясь ШАК, вы сумеете узнать, какие затмения произойдут в ближайшее время и где они будут видны.

Полное солнечное затмение — очень красивое явление. На месте Солнца виден черный диск, окруженный нежным серебристо-жемчужным сиянием (короной). Дневной свет настолько ослабевает, что видны яркие звезды и планеты. Горизонт окаймлен заревым кольцом.

Во время полного лунного затмения Луна не исчезает совсем, а приобретает красный оттенок. Это объясняется тем, что солнечные лучи преломляются и рассеиваются в земной атмосфере. Причем рассеиваются в основном синие и голубые лучи (чем и обусловлен цвет нашего дневного неба), а преломляются — красные. Красными лучами как бы насыщен конус земной тени, в который попадает Луна во время затмения.

В прошлом необычный вид Луны и Солнца во время затмений приводил людей в ужас. Сейчас причина затмений перестала быть тайной. В настоящее время разработаны очень точные методы предсказания солнечных и лунных затмений. Можно также узнать, когда затмения происходили в прошлом. Астрономы неоднократно помогали историкам уточнить дату исторических событий, которые по свидетельству летописей совпадали с затмениями.

Наблюдения затмений позволяют ученым получить важные сведения о физической природе Солнца, строении земной атмосферы и движении Луны.

Упражнение 7. 1. Объясните причину смены лунных фаз. 2. Как происходит смена фаз Земли на небе Луны? 3. Объясните причину солнечных и лунных затмений. 4. Каков минимально возможный промежуток времени между солнечным и лунным затмением? 5. Постарайтесь выполнить задание 15 (с. 128).

§ 8. ПРИРОДА ЛУНЫ

1. РАЗМЕРЫ, МАССА И СРЕДНЯЯ ПЛОТНОСТЬ. Данные об этих физических характеристиках Луны приведены в справочной таблице IV, 133. Познакомьтесь с ними и подумайте, что нужно знать, чтобы определить размеры, массу, среднюю плотность и ускорение силы тяжести на поверхности Луны.

20•. *Зная, что масса Луны составляет 1/81,3 массы Земли, вычислите ускорение силы тяжести на поверхности Луны.*

2. ОТСУТСТВИЕ АТМОСФЕРЫ И ВОДЫ. Луна лишена сколько-нибудь ощутимой атмосферы. Если и допустить, что в прошлом у Луны была атмосфера, то впоследствии Луна не смогла удержать ее своим притяжением.

На Луне нет и никогда не было воды. Испарение воды образовало бы вокруг Луны газовую оболочку, которая бы тоже быстро рассеялась.

3. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ УСЛОВИЯ. На протяжении долгого лунного дня, длящегося почти две земные недели (объяснить, почему), поверхность Луны сильно нагревается, а затем охлаждается в ночное время. Отсутствие атмосферы на Луне приводит к резким колебаниям температуры. В районе «подсолнечной» точки, т. е. там, где Солнце днем находится в зените, температура достигает 500 К. На противоположной стороне Луны поверхность охлаждается примерно до 120 К. Значит, на протяжении одних лунных суток (29,5 земных суток) происходят большие колебания температуры. Однако они относятся только к поверхности Луны. Уже на глубине в несколько десятков сантиметров температура в течение лунных суток не изменяется. Это объясняется тем, что лунный грунт очень пористый и в отсутствие атмосферы имеет низкую теплопроводность.

4. НЕБО ЛУНЫ. Из-за отсутствия атмосферы небо на Луне всегда черное. Звезды не мерцают. Ночью на Луне видно много слабых звезд, но созвездия там те же, что и на небе Земли. (Почему?) Днем сияет Солнце и видны наиболее яркие звезды и планеты. Благодаря этому космонавты могут ориентироваться на Луне по звездам днем и ночью. Ориентировка по звездам приобретает на Луне особое значение, так как там магнитный компас бесполезен: у Луны нет магнитного поля, подобного земному.

Эффектное украшение неба Луны — наша Земля (рис. 11). Диск Земли значительно больше солнечного диска. (Почему?)

5. ПОВЕРХНОСТЬ ЛУНЫ. Даже невооруженным глазом на Луне видны обширные темные участки («*моря*») и светлые («*материки*»). Несмотря на то что в лунных «морях» нет ни

капли воды, в науке сохранилась прежняя система наименований, предложенная еще в XVII в. На обращенной к Земле стороне Луны материки — гористые районы — занимают около 60% , а моря — 40% . Многие лунные моря окаймлены протяженными горными хребтами. Хребты получили названия земных горных цепей (Кавказ, Альпы, Пиренеи).

Очень своеобразны многочисленные кольцевые горы на Луне. Это *кратеры* и *цирки*. Обычно лунный кратер имеет следующее строение: замкнутый вал, опоясывающий дно, и центральная горка. Диаметры наиболее крупных цирков достигают 250 км при высоте вала 5 км. В формировании лунного рельефа основную роль играли многочисленные падения метеоритов и лавовые излияния, сопровождающие извержения вулканов.

21* *Начертите в масштабе профиль большого лунного цирка.*

Отсутствие атмосферы на Луне позволяет подробно рассмотреть лунную поверхность (рис. 12). Неповторимая красота лунного рельефа открывается перед наблюдателем, который имеет в своем распоряжении небольшой телескоп или хотя бы призменный бинокль (с. 127). В полнолуние особенно хорошо видны моря и Океан Бурь, а кратеры наиболее отчетливо выделяются вблизи терминатора, постепенно перемещающегося при смене лунных фаз.

В самые большие телескопы с Земли редко удается рассмотреть на Луне детали размером менее километра. Но еще до первых полетов людей на Луну автоматические станции передали на Землю фотографии, полученные с небольшой высоты над поверхностью Луны, а затем и с ее поверхности. Эти фотографии позволили начать изучение мелких деталей лунного рельефа (очень маленькие кратеры, отдельные камни, рис. 13). Оказалось, что из множества небольших кратеров состоят и *светлые лучи*, тянущиеся от некоторых лунных кратеров.

В отличие от продолжающихся в течение нескольких столетий телескопических исследований видимой стороны Луны, исследование обратной ее стороны началось буквально на наших глазах. Впервые в истории науки обратная сторона Луны была сфотографирована советской автоматической станцией «Луна-3» в октябре 1959 г. (с. 98). Примерно через шесть лет (июль 1965 г.) советская автоматическая межпланетная станция «Зонд-3», выведенная на гелиоцентрическую орбиту, передала новые высококачественные фотографии (рис. 14). Обратную сторону Луны фотографировали и с американских искусственных спутников Луны. Все эти эксперименты позволили составить карту и атлас обратной



Рис. 11. Земля на небе Луны. *Не правда ли, прекрасное доказательство того, что наша Земля тоже небесное тело?*

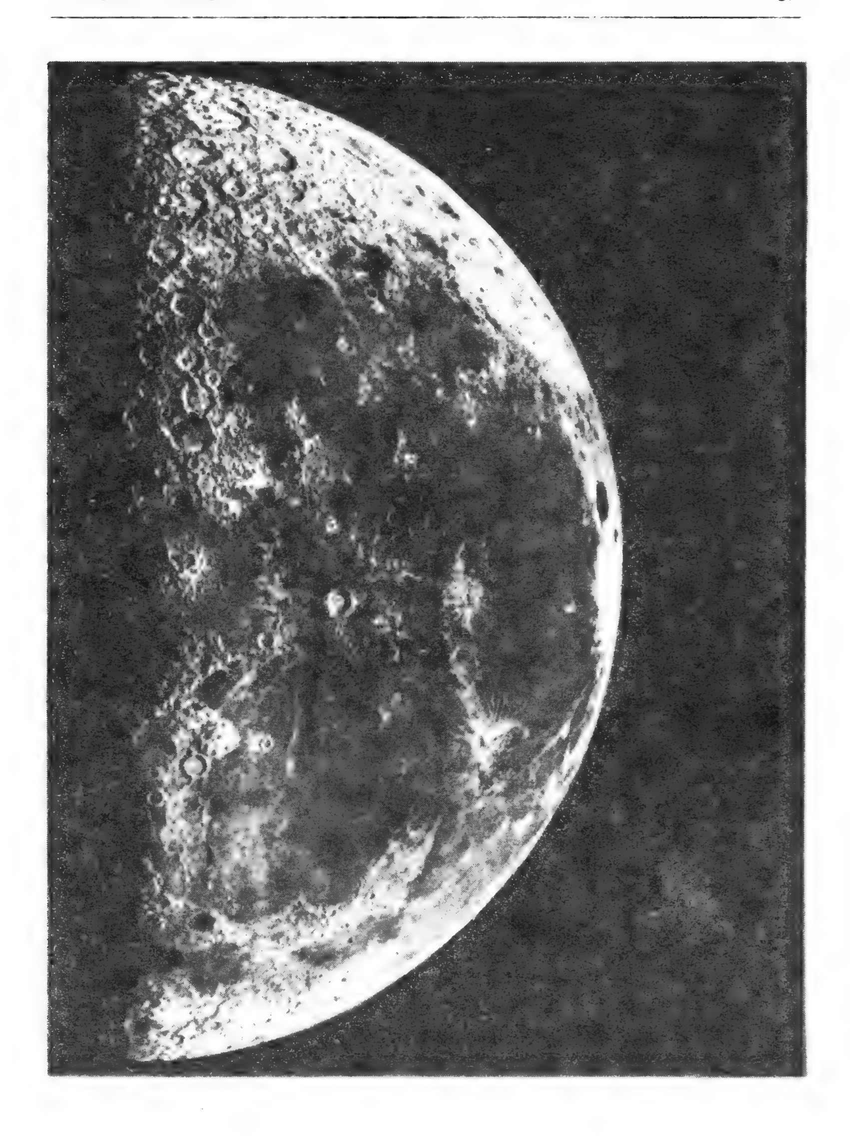


Рис. 12. Так выглядит Луна в телескоп

стороны Луны, лунный глобус и полную карту, охватывающую почти всю поверхность Луны. Оказалось, что на невидимом полушарии Луны преобладают материки.

6. ЛУННЫЙ ГРУНТ. Благодаря успешным полетам автоматических станций на Луну и лунным экспедициям стали известны механические свойства лунного грунта, его химический и минералогический состав (с. 100). На Луне нет толстого слоя пыли, которого в недавнем прошлом опасались многие ученые. Но пыль на Луне есть. Она черно-сероватого цвета и по внешнему виду напоминает древесный уголь. Тонким слоем пыли покрыты лунные камни, пыль легко прилипала к подошвам обуви и скафандрам астронавтов (с. 98). По мере погружения в глубину к пылевидному порошку примешиваются твердые осколки магматических пород, стекловидные зерна (лунный грунт искрится). Поверхностный слой Луны (*лунный реголит*) подвержен процессам эрозии (удары

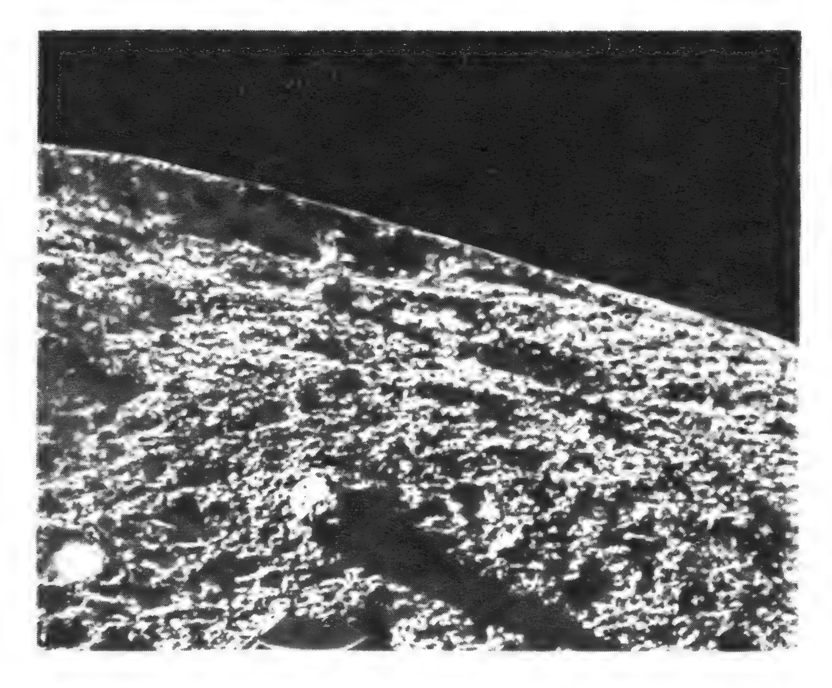


Рис. 13. Фрагмент одной из первых панорам, переданных с Луны советской автоматической межпланетной станцией «Луна-9». *Высоко ли над горизонтом Луны находилось Солнце в момент фотографирования?*

метеоритов; обработка лунных пород потоками частиц, непрерывно исходящими от Солнца). Грунт из лунных морей отличается от грунта из материковых районов. Грунт из морей похож на земные *базальты:* это темный материал вулканических лав. В материковых районах преобладают более светлые породы (*анортозиты*). Лунные базальты содержат железо, кремний и много других, хорошо известных нам химических элементов. Лунные анортозиты обогащены алюминием и кальцием.

На Луне не обнаружено никаких микроорганизмов.

В лаборатории тщательно определили и возраст лунных пород. Самые «молодые» породы найдены в морях — им около 3 млрд. лет. Породы лунных материков примерно на миллиард лет старше. Исследования лунного вещества дадут ценные сведения о процессах формирования лунных пород и о прошлом Луны.

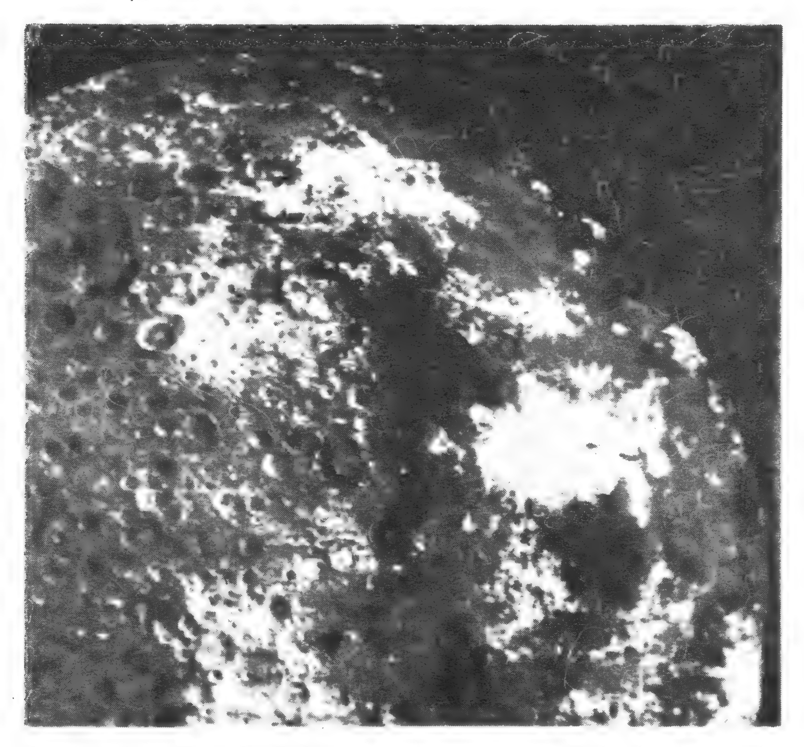


Рис. 14. Один из районов обратной стороны Луны

Упражнение 8. 1. Сравните Луну с Землей, укажите основные черты сходства и различия. 2. Используя материал параграфа, приведите примеры познаваемости мира. 3. Постарайтесь приступить к выполнению задания 16 (с. 128).

§ 9. ПЛАНЕТЫ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

22•. *Как представлял себе Коперник строение Солнечной системы?*

1. ЗАКОНОМЕРНОСТИ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ. Вокруг Солнца обращаются 9 больших планет. Перечислим их в порядке удаления от Солнца: Меркурий, Венера, Земля (с Луной), Марс (с двумя спутниками), Юпитер (с 14 спутниками!), Сатурн (с 10 спутниками), Уран (с 5 спутниками), Нептун (с 2 спутниками), Плутон (со спутником). Кроме больших планет вокруг Солнца движется множество малых планет (астероидов) и комет. Таково общее строение Солнечной системы. Движение планет в Солнечной системе подчинено следующим закономерностям:

— Планеты движутся вокруг Солнца по эллипсам (вспомните законы Кеплера).

— Эксцентриситеты орбит планет очень малы.

— Орбиты планет лежат приблизительно в одной плоскости.

— Планеты движутся вокруг Солнца в том же направлении, в каком Солнце вращается вокруг своей оси.

— У большинства планет (за исключением Венеры и Урана) направление вращения вокруг оси совпадает с направлением обращения вокруг Солнца.

— Почти 99,9% массы вещества Солнечной системы приходится на долю медленно вращающегося вокруг своей оси Солнца.

— По своим физическим характеристикам (массам, размерам и др.) планеты делятся на две группы: планеты земной группы (Меркурий, Венера, Земля, Марс и, возможно, очень мало изученный Плутон) и планеты-гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун).

2. ПЛАНЕТЫ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ.

23*. *Вспомните, что вам известно о Земле как планете из курсов географии, физики и предыдущих уроков астрономии (с. 101).*

24•. ***Рассмотрев VI, 134, убедитесь,*** *что эти планеты сходны с Землей по своим размерам, массам, средним плотностям и небольшому числу имеющихся у них спутников.*

25•. *Сравните периоды вращения планет земной группы. Какая из планет вращается быстрее других, а какая — медленнее?*

26•. *Зная углы наклона осей планет земной группы к плоскости их орбит, выясните, как на этих планетах происходит смена времен года, и сравните со сменой времен года на Земле.*

Сходство и различие планет земной группы обнаруживается и при детальном исследовании природы каждой из этих планет (рис. 15—18). Например, благодаря успехам космонавтики и

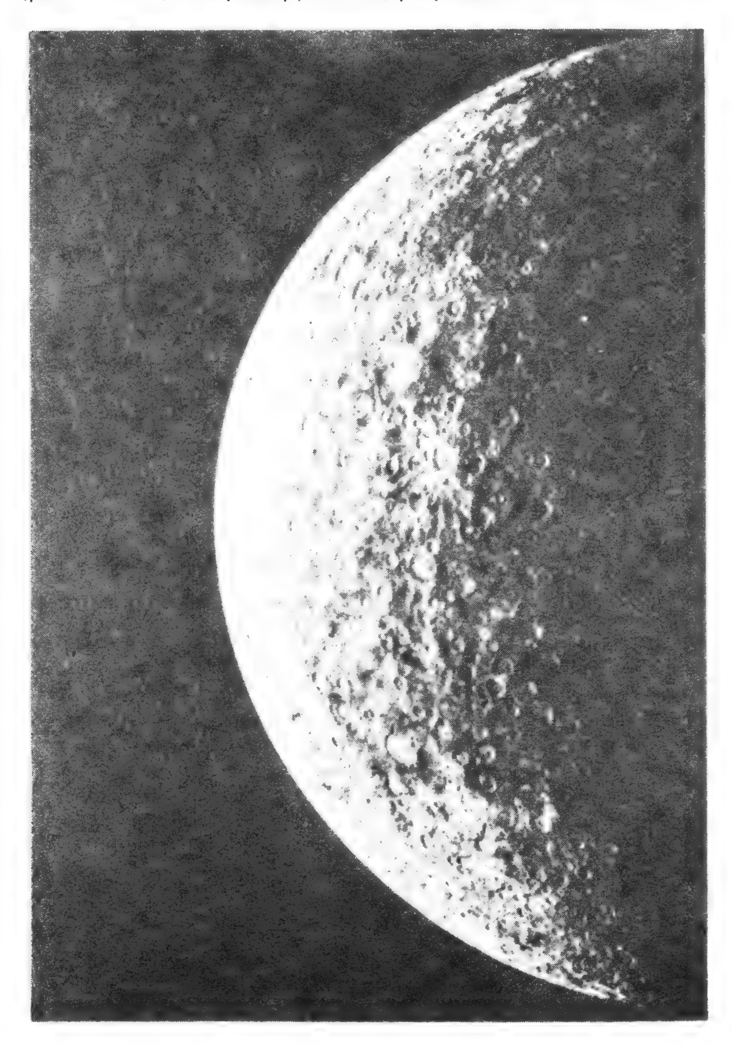


Рис. 15. Так выглядит Меркурий с близкого расстояния («Маринер-10»). *Поверхность какого небесного тела вам напоминает поверхность Меркурия?*

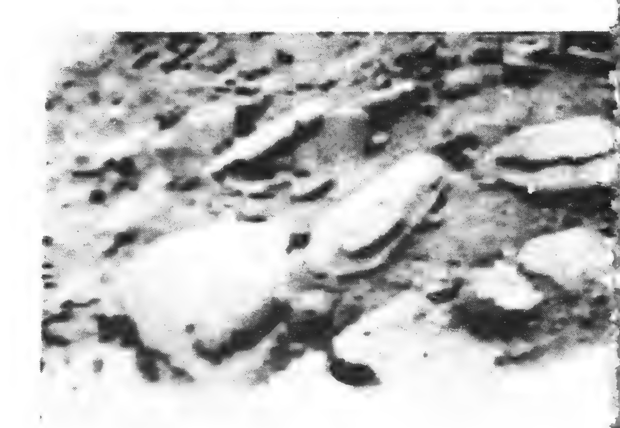


Рис. 16. Фрагмент первой панорамы поверхности Венеры («Венера-9»)

Рис. 17. Кратеры на Марсе («Марс-5»)

Рис. 18. Фотография участка поверхности Марса, переданная «Викингом-1»



радиоастрономическим исследованиям в настоящее время известно, что на планетах земной группы имеется множество кратеров, напоминающих лунные (с. 102). Немало кратеров (и среди них довольно крупных) есть и на Земле. В этом сходство поверхностей всех планет земной группы. Но есть и важные отличия. Например, открытые водные пространства

(т. е. настоящие моря и океаны) существуют только на Земле, где они занимают примерно ⅔ земной поверхности. Резко отличаются от земной атмосферы газовые оболочки Венеры и Марса. Это отличие количественное и качественное. Атмосферное давление у поверхности Венеры примерно в 100 раз больше, чем у поверхности Земли. На Марсе атмосферное давление примерно в 150 раз меньше, чем на Земле. Вам должен быть известен состав атмосферы Земли (с. 101), а атмосферы Венеры и Марса в основном состоят из углекислого газа!

27•. *Пригодны ли атмосферы ближайших к Земле планет для дыхания людей?*

Рис. 19. Юпитер с расстояния 130 000 км («Пионер-10»). Хорошо заметны облачные полосы, тянущиеся параллельно экватору планеты, кружочек — тень от одного из спутников, овал — загадочное Красное Пятно в атмосфере планеты



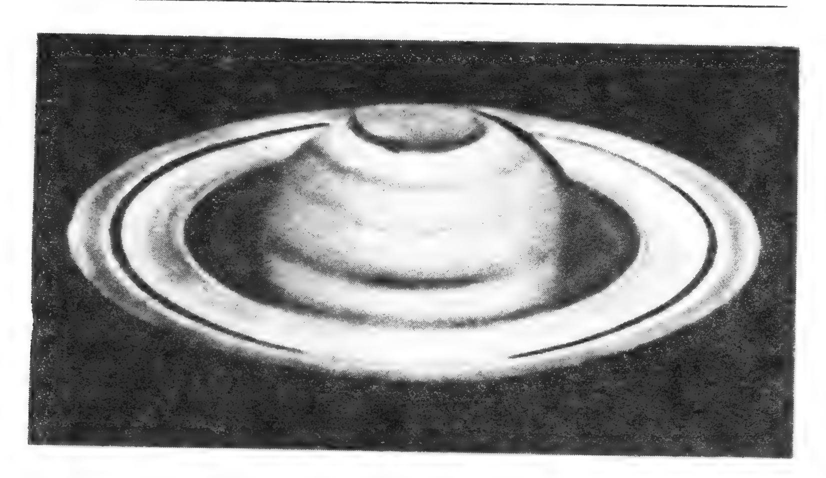


Рис. 20. Сатурн. Фотография, сделанная одним из крупных наземных телескопов. Кольца Сатурна состоят из множества очень маленьких спутников планеты. Каждый из этих спутников движется вокруг Сатурна по законам Кеплера

Температурные условия, наличие атмосферы, продолжительность суток и т. д. тоже неодинаковы даже на соседних планетах.

3. ПЛАНЕТЫ-ГИГАНТЫ.

28•. *Сравните физические характеристики планет-гигантов с планетами земной группы (VI, 134).*

Выполнив задание, вы убедитесь, что в отличие от планет земной группы планеты-гиганты имеют очень большие массы, размеры, быстро вращаются вокруг своих осей. Эти планеты настолько сплюснуты к экватору, что, например, сжатие Юпитера нетрудно заметить в телескопы даже при визуальных наблюдениях. Как правило, у планет-гигантов больше спутников, чем у планет земной группы. В отличие от планет земной группы гигантские планеты обладают малыми средними плотностями. Это объясняется тем, что в основном планеты-гиганты состоят из таких легких химических элементов, как водород и гелий.

Природа планет-гигантов еще во многом загадочна. Это относится не только к таким далеким (и поэтому малоизученным) планетам, как Уран и Нептун, но и к Юпитеру (рис. 19) и Сатурну (рис. 20). *Юпитер* — характерный представитель планет-гигантов. Из телескопических наблюдений известно, что Юпитер вращается не как твердое тело: период вращения экваториальной зоны на несколько минут меньше, чем для

средних широт и околополярных областей. Непосредственному наблюдению доступны лишь внешние слои очень протяженной атмосферы Юпитера.

Магнитное поле Юпитера в несколько раз превосходит магнитное поле Земли. Своим магнитным полем Юпитер захватывает летящие от Солнца электрические частицы. В результате вокруг Юпитера (как и вокруг Земли) образуются области, в которых движутся электроны и протоны. Это *радиационные пояса* Юпитера. Они во много раз больше радиационных поясов Земли. На несколько тысяч километров простирается и ионосфера Юпитера. С движением электрически заряженных частиц в ионосфере и радиационных поясах связано интенсивное радиоизлучение Юпитера. Много сложных проблем еще предстоит решить ученым, исследующим планеты-гиганты. Но именно в исследовании всех планет Солнечной системы — путь к глубокому познанию той планеты, на которой мы живем.

Упражнение 9. 1. Проанализируйте явление смены времен года на Земле с точки зрения причинно-следственных связей. 2. Одинаково ли происходит смена времен года на планетах Солнечной системы? 3. Чем отличаются планеты земной группы от планет-гигантов? 4. Что вы знаете о ближайших к Земле планетах? 5. Постарайтесь выполнить задания 17 и 18 (с. 129).

§ 10. МАЛЫЕ ТЕЛА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

1. АСТЕРОИДЫ. Первый астероид (Церера) был открыт в начале XIX в. Сейчас зарегистрировано около 2000 малых планет. Общее число астероидов должно быть в десятки раз больше. Астероидам присваивают порядковые номера и дают имена, преимущественно женские. Некоторые новые астероиды названы в честь великих людей (852 Владилена, 1379 Ломоносова), стран (1541 Эстония, 1554 Югославия). Одна из малых планет носит имя замечательной дочери Ленинского комсомола Зои Космодемьянской (1793 Зоя).

Астероиды движутся вокруг Солнца по эллиптическим орбитам в том же направлении, что и большие планеты.

29•. *Каковы периоды обращений астероидов, отстоящих от Солнца на 2,2 а.е.? 3,6 а.е.?*

В основном астероиды располагаются между орбитами Марса и Юпитера. Но есть астероиды, которые в афелии удаляются за орбиту Сатурна (Гидальго), другие в перигелии приближаются к Марсу, Земле (Амур, Гермес). Икар, открытый в 1949 г., даже попадает внутрь орбиты Меркурия.

30*. *Найдите эксцентриситет орбиты Икара, зная, что его расстояния от Солнца в перигелии и афелии соответственно равны 0,18 и 1,97 а.е.*

Изобразите в масштабе орбиты Меркурия, Венеры, Земли, Марса, Юпитера и Икара.

Церера — самый крупный астероид (диаметр 780 км). Большинство же астероидов имеют размеры от нескольких километров до нескольких десятков километров. Многие из них — глыбы неправильной формы. Массы астероидов слишком малы, чтобы эти небесные тела могли удержать атмосферу.

2. КОМЕТЫ.

31•. *Приходилось ли вам когда-нибудь видеть комету?*

Кометы («хвостатые звезды») издавна привлекали внимание людей, внушая многим из них суеверный ужас. В старину люди в молитвах просили избавления от таких бедствий, как чума и кометы. От других тел Солнечной системы яркие кометы резко отличаются своим видом, формой орбит, большими размерами (рис. 21).

Орбиты большинства комет — сильно вытянутые эллипсы, плоскости которых составляют различные углы с плоскостью эклиптики. Двигаясь по таким орбитам, кометы в перигелии близко подходят к Солнцу (и к Земле), а в афелии иногда удаляются на сотни тысяч астрономических единиц. Значит, Солнечная система простирается далеко за пределы орбиты Плутона — последней из известных пока планет.

32•. *Оцените период обращения кометы, которая в афелии отстоит от Солнца на 40 000 а.е.*

Ежегодно обнаруживают в среднем 6—8 комет. Среди них встречаются периодические кометы, которые в очередной раз возвратились к Солнцу. Часто кометы открывают любители астрономии.

Известны кометы с небольшими периодами обращения вокруг Солнца. Самый короткий период у кометы Энке (3,3 года). Много раз приближалась к Солнцу и комета Галлея, период обращения которой около 76 лет. Очередное появление этой кометы ожидается в 1985—1986 гг.

В кометах различают *ядро, голову* и *хвост*. Диаметр головы иногда достигает сотен тысяч километров, а хвосты простираются обычно в сторону от Солнца на десятки и сотни миллионов километров. Но массы комет малы. Наблюдая сближения комет с планетами, астрономы установили, что массы комет порядка 10^{-6} массы Земли. Почти вся масса сосредоточена в центральной части головы кометы, в ее ядре. Ядра комет по размерам сравнимы с небольшими астероидами. Вещество, окружающее ядро, и особенно вещество, из которого состоят хвосты комет, очень разрежены. Поэтому даже столкновение с ядром кометы для Земли неопасно.

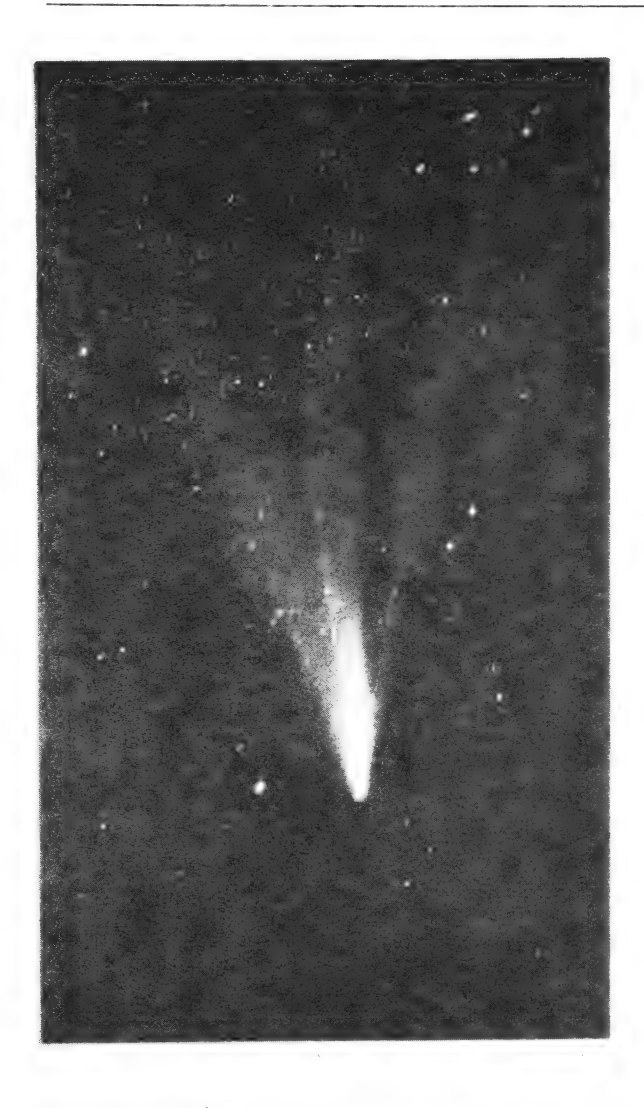


Рис. 21. Комета Уэста. Это одна из четырех комет, которую можно было видеть в нашем столетии невооруженным глазом. 25 февраля 1976 г., когда комета приблизилась к перигелию своей орбиты, ее блеск достиг примерно 3^m. Комета замечательна многообразием форм своих хвостов и тем, что в марте 1976 г. ее ядро разделилось на части

Ядра комет со временем распадаются. Они состоят из небольших тел, содержащих смесь «загрязненных» льдов. Хвосты комет начинают образовываться под действием солнечного излучения, когда кометы находятся еще далеко от Солнца. Сведения о химическом составе получают из анализа спектров газа, находящегося в голове и хвосте кометы. Кроме газов кометные хвосты содержат частицы пыли. Ядро кометы и пыль светят отраженным и рассеянным солнечным светом. Свечение газа (флуоресценция) происходит под воздействием солнечного излучения.

3. МЕТЕОРНЫЕ ТЕЛА И МЕТЕОРИТЫ. Природа метеоров («падающих звезд») долгое время оставалась неразгаданной. *Метеоры* — это явление вспышки небольших, величиной от горошины до биллиардного шара космических тел, влетающих со скоростью десятки километров в секунду в земную атмосферу. Очень яркие метеоры (*болиды*) порождаются вторжением более массивных метеорных тел. Болиды в виде огненных шаров со светящимися хвостами иногда бывают видны даже днем.

Ежегодно в одни и те же ночи (например, 12 августа) можно наблюдать особенно много метеоров. Если нанести видимые пути этих метеоров на звездную карту и продолжить пути назад, то мы найдем участок неба — *радиант*, из которого как бы вылетают метеоры. Так, радиант августовских метеоров находится в созвездии Персея (метеорный поток Персеид). *Метеорные потоки* (а их известно сейчас более 30) наблюдаются в тех случаях, когда Земля встречается с роем метеорных тел, которые движутся приблизительно по одной орбите. Обычно это орбита какой-нибудь разрушившейся кометы.

Земля при своем движении вокруг Солнца нередко встречается и с довольно крупными телами, которые лишь частично разрушаются в атмосфере и падают на поверхность Земли в виде каменных или железных *метеоритов.* При движении крупных метеорных тел наблюдаются болиды, а в земной атмосфере возникает мощная ударная волна. Некоторые такие тела дробятся в воздухе, и тогда на Землю выпадает *метеоритный дождь*. Например, в 1947 г. в виде множества осколков упал Сихотэ-Алиньский метеорит (рис. 22).

Крупные метеориты на месте падения образуют *воронки* или *кратеры*. Известны десятки больших метеоритных кратеров.

Знаменитый Тунгусский метеорит (30 июня 1908 г.) повалил в сибирской тайге лес на огромной территории. Однако ни сам метеорит, ни кратер от его падения обнаружить не удалось. До сих пор в район падения метеорита направляются экспедиции, участники которых изучают вывал леса, ожог деревьев,

4—797

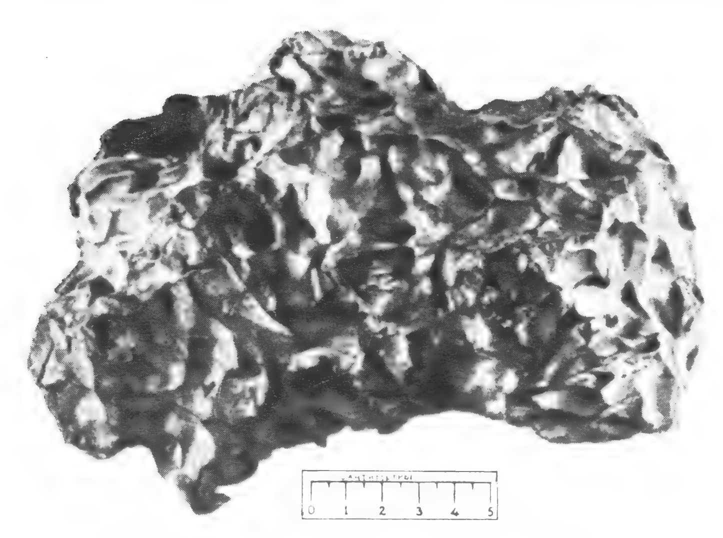


Рис. 22. Осколок Сихотэ-Алиньского метеорита

исследуют сохранившиеся в грунте микроскопические остатки метеоритного вещества. Предполагают, что произошло столкновение Земли с ядром небольшой кометы. Тело массой в сотни тысяч тонн взорвалось и испарилось над поверхностью Земли.

Каждый метеорит представляет ценность для науки (с. 105). Еще недавно метеориты были единственными небесными телами, доступными исследованию в лабораториях. Данные об их составе позволяют судить о распространении элементов в Солнечной системе и ранних периодах ее истории.

Упражнение 10. 1. «Звезда упала — человек умер», — говорили в народе, увидев метеор. Можете ли вы опровергнуть это суеверие? 2. Все ли небесные тела, входящие в состав Солнечной системы, шарообразны? 3. Какие небесные тела ученые сейчас уже могут исследовать в земных лабораториях? 4. Постарайтесь выполнить задания 19 и 20, а если сумеете, то и 21 (с. 129—130).

§ 11. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СОЛНЦЕ

33•. *Охарактеризуйте роль Солнца как источника многих видов энергии на Земле.*

Издавна у разных народов Солнце было объектом поклонения. Его считали главным и самым могущественным боже-

ством. Культ непобедимого Солнца существовал во многих странах (Гелиос — греческий бог Солнца, Аполлон — бог Солнца у римлян, Митра — бог Солнца у персов, Ра — у египтян, Ярило — у восточных славян). В честь Солнца воздвигали храмы, слагали гимны, приносили жертвы. С тех пор прошло много веков. Как же изменилось отношение людей к Солнцу? Сейчас ученые изучают природу Солнца, выясняют его влияние на Землю, работают над проблемой практического применения неиссякаемой солнечной энергии. Солнце — единственная звезда в Солнечной системе. Изучая эту ближайшую к нам звезду, мы узнаем о многих явлениях и процессах, присущих другим звездам.

1. РАЗМЕРЫ, МАССА И СРЕДНЯЯ ПЛОТНОСТЬ (V, 133). Радиус Солнца в 109 раз, а объем примерно в 1 300 000 раз больше радиуса и объема Земли. Масса Солнца примерно в 330 000 раз больше массы Земли и почти в 750 раз больше суммарной массы планет.

34•. *Сравните по размерам и массам Солнце и Юпитер. Изобразите в масштабе эти небесные тела.*

35•. *Вычислите среднюю плотность Солнца. Сравните ее со средней плотностью Земли и Юпитера (III, 132; VI, 134).*

2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ФИЗИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА. Важнейшие сведения о природе Солнца получены из анализа его спектра. Спектр Солнца непрерывный, со множеством линий поглощения (фраунгоферовых линий). Исследование фраунгоферовых линий позволяет определить химический состав атмосферы Солнца. На Солнце обнаружено более 70 химических элементов. Никаких «неземных» элементов Солнце, как и все другие небесные тела, не содержит. Самые распространенные элементы на Солнце — водород (70% всей массы Солнца) и гелий (28%). Напомним, что гелий («солнечный газ») был впервые открыт на Солнце (1868 г.) и только почти через 30 лет — на Земле.

36*. *Опираясь на знания из курсов физики и химии, вспомните, какую роль сыграл гелий в изучении строения атома, в физике низких температур, а также, где сейчас используется гелий.*

Температура «поверхности» Солнца около 6000 К.

При такой температуре атомы многих химических элементов ионизованы. С глубиной температура Солнца возрастает и вместе с тем увеличивается число ионизованных атомов. В недрах Солнца температура, как показывают расчеты, достигает $15 \cdot 10^6$ К. Поэтому вещество на Солнце находится в плазменном состоянии; а само Солнце — раскаленный плазменный шар.

3. СОЛНЕЧНАЯ ПОСТОЯННАЯ И СВЕТИМОСТЬ СОЛНЦА. Полное количество энергии, которое падает в 1 мин на площадку в 1 $см^2$, расположенную перпендикулярно солнечным лучам вне земной атмосферы на среднем расстоянии Земли от Солнца, называется солнечной постоянной.

В результате тщательных измерений, выполненных с учетом поглощения излучения в земной атмосфере, нашли, что солнечная постоянная равна

$$2 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин} = 1{,}4 \cdot 10^3 \text{Вт/м}^2.$$

Легко вычислить светимость Солнца, т. е. количество энергии, которое Солнце излучает в 1 с. Для этого достаточно умножить величину солнечной постоянной на площадь сферы с радиусом в 1 а. е. (Почему?)

37•. *Выполните этот расчет и убедитесь, что светимость Солнца*

$$L_C \approx 4 \cdot 10^{26} \text{ Вт}.$$

38*. *Во сколько раз мощность излучения Солнца больше мощности Красноярской ГЭС им. 50-летия СССР ($6 \cdot 10^6$ кВт)?*

Миллиарды лет Солнце ежесекундно излучает огромное количество энергии. Эта энергия освобождается в результате термоядерных реакций (водород превращается в гелий), которые происходят в недрах Солнца (с. 106).

4. АТМОСФЕРА СОЛНЦА. Строго соблюдая правила, изложенные на с. 130 (задание 22), постарайтесь увидеть на Солнце темные солнечные пятна и факелы — небольшие светлые участки (рис. 23). Если в течение нескольких дней сравнивать последовательные фотографии или зарисовки Солнца, то можно заметить, что положение пятен на диске Солнца изменилось. Произошло это потому, что Солнце вращается. Период вращения экваториальных областей Солнца 25 земных суток, а полярных — более 30. Значит, Солнце вращается не как твердое тело.

39•. *Встречались ли вы уже с примером такого вращения?*

Видимая «поверхность» Солнца (*фотосфера*) представляет собой слой газа толщиной около 300 км.

Пятна и факелы — детали фотосферы. Еще до изобретения телескопа люди иногда замечали пятна на неярком заходящем или видимом сквозь легкие облака Солнце. Долгое время не знали, что представляют собой эти пятна.

Пятна существуют от нескольких дней до нескольких месяцев. Временами на Солнце не бывает пятен совсем, а иногда одновременно наблюдаются десятки крупных пятен. Обычно пятна наблюдаются группами, протяженность самых больших групп достигает сотен тысяч километров. Много-

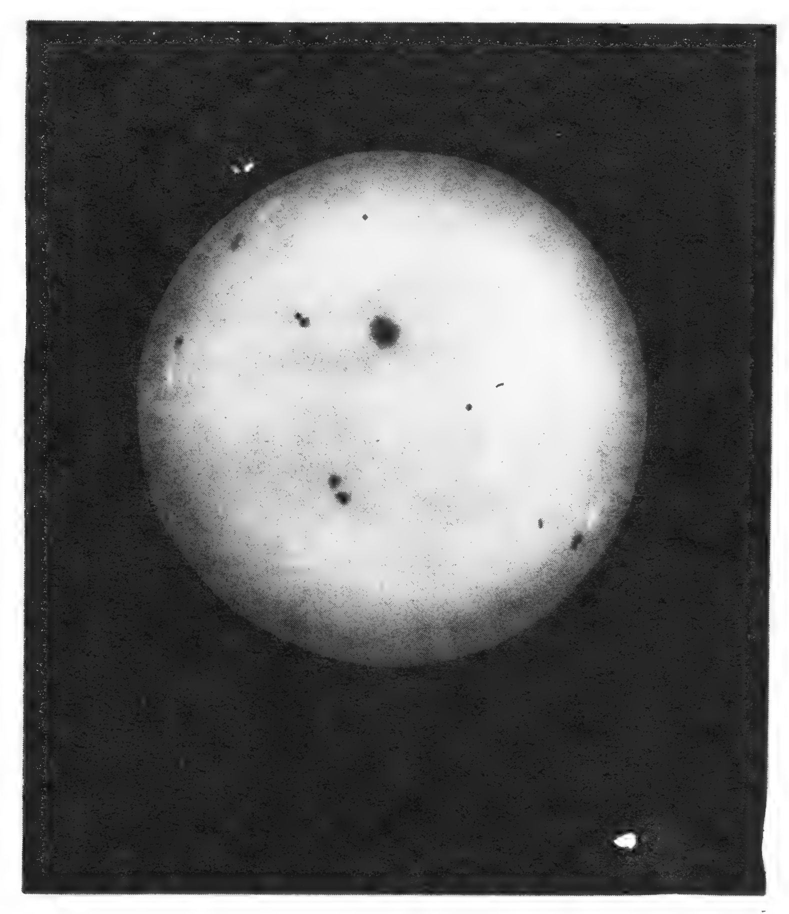


Рис. 23. Вид Солнца в телескоп. *Какие детали фотосферы видны на этой фотографии?*

летние наблюдения выявили циклические колебания числа пятен. Средняя продолжительность цикла составляет примерно 11 лет.

Пятна кажутся темными лишь по контрасту с фотосферой. На самом деле их температура около 4300 К (т. е. выше температуры электрической дуги!). Пятна холоднее фотосферы, появление на Солнце этих облаков газа и их последующее исчезновение, конечно, не означает, что Солнце охлаждается.

Факелы — светлые и более горячие детали фотосферы — чаще всего окружают солнечные пятна. Факелы возникают незадолго до появления солнечных пятен и существуют дольше пятен.

Фотосфера покрыта ячейками (*гранулами*) (рис. 24). Размеры гранул неодинаковы и составляют в среднем несколько сотен километров. Время существования гранул всего несколько минут. Появление и исчезновение гранул показывает, что фотосфера находится в непрерывном движении.

В моменты полных солнечных затмений хорошо видны внешние области атмосферы Солнца — *хромосфера* и *корона*. Яркость хромосферы и короны во много раз меньше яркости фотосферы. Из-за рассеяния солнечного света в земной атмосфере не удается без специальных приспособлений видеть вне затмения хромосферу и корону.

Одно из интереснейших явлений в хромосфере Солнца — *вспышки*. Они возникают над быстро изменяющимися пятнами. Вспышка (рис. 25) начинается с увеличения яркости небольшого участка хромосферы, но затем распространя-

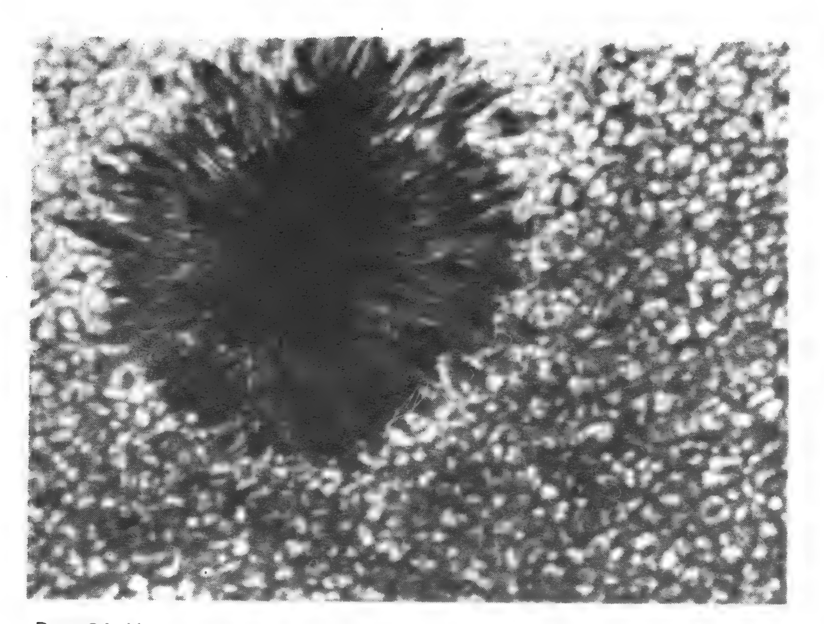


Рис. 24. Участок фотосферы Солнца с пятном и гранулами. Эту фотографию советские ученые получили с помощью установленного на стратостате и управляемого с Земли телескопа

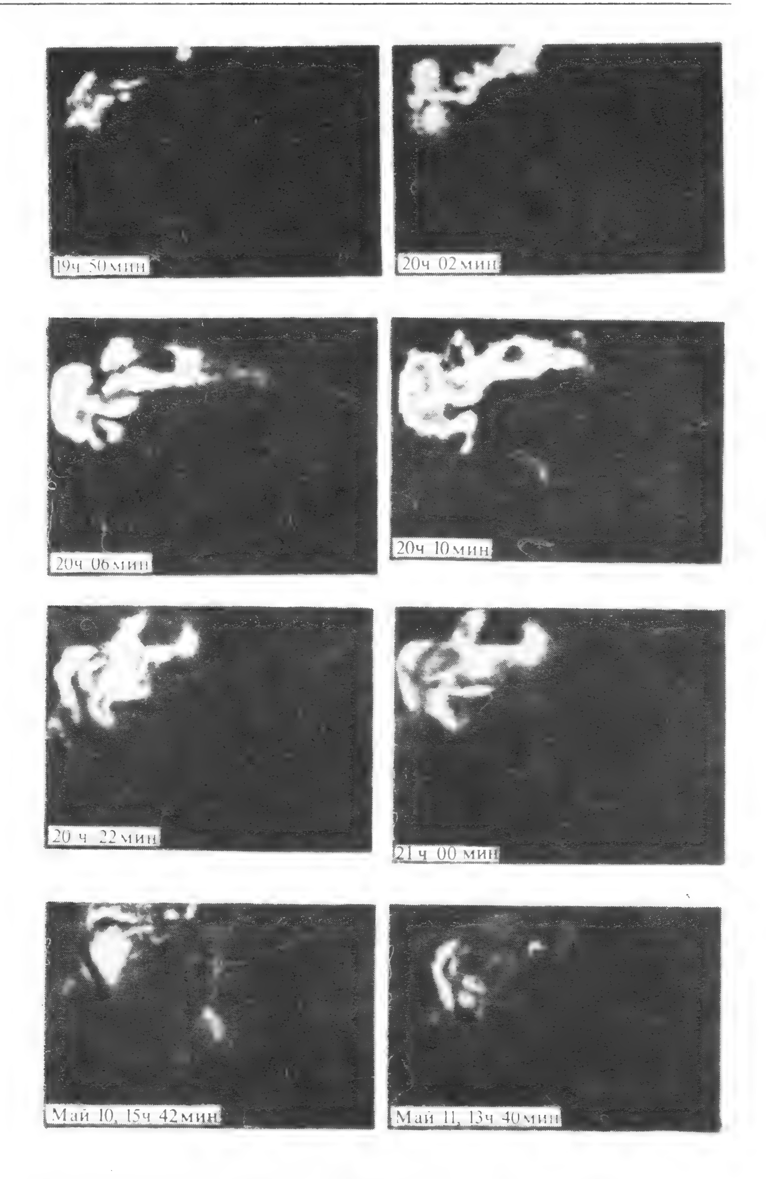


Рис. 25. Хромосферная вспышка. *Проследите ее развитие (внизу эта же область до и после вспышки).*

ется на площади в десятки миллиардов квадратных километров. Слабые вспышки исчезают через 5—10 мин, а самые мощные продолжаются несколько часов. Слабые вспышки происходят на Солнце по нескольку раз в сутки. Мощные вспышки наблюдаются значительно реже, в результате таких вспышек выделяется энергия до 10^{25}—10^{26} Дж. По характеру явления (стремительность развития, огромное энерговыделение) вспышки представляют собой взрывные процессы.

40•. *Сравните количество энергии, которое выделяется при вспышке, с количеством энергии, выделяющейся при взрыве мегатонной бомбы ($4 \cdot 10^{15}$ Дж).*

Хромосфера простирается до высоты 10—14 тыс. км. В ее самых нижних слоях температура около 5000 К, а затем по мере подъема над фотосферой температура растет, достигая в верхней хромосфере $20-50 \cdot 10^3$ К и еще бо́льших значений в короне (рис. 26).

Корона неразрывно связана с фотосферными пятнами и факелами, а также с явлениями в хромосфере. В корону простираются гигантские плазменные выступы или арки, как бы опирающиеся на хромосферу. Это *протуберанцы* (рис. 27).

Огромная протяженность короны свидетельствует о ее высокой температуре. Это подтверждается и исследованием спектра короны. Ряд линий в спектре короны оставался загадочным

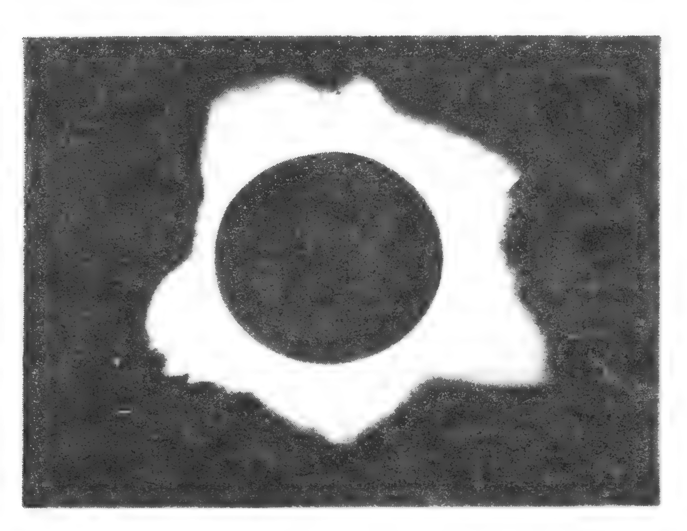


Рис. 26. Солнечная корона. Это внутренняя корона, а внешние области короны простираются на много радиусов от диска Солнца

вплоть до 40-х годов. Оказалось, что эти линии принадлежат многократно ионизованным атомам хорошо известных на Земле элементов. Например, зеленая корональная линия с длиной волны 5305 Å излучается атомами железа, лишенными 13 электронов. Такая высокая ионизация в очень разреженном веществе короны возможна при температуре около $2 \cdot 10^6$К. Следовательно, наблюдая корону, ученые получают уникальную возможность изучать в космической лаборатории высокотемпературную разреженную плазму.

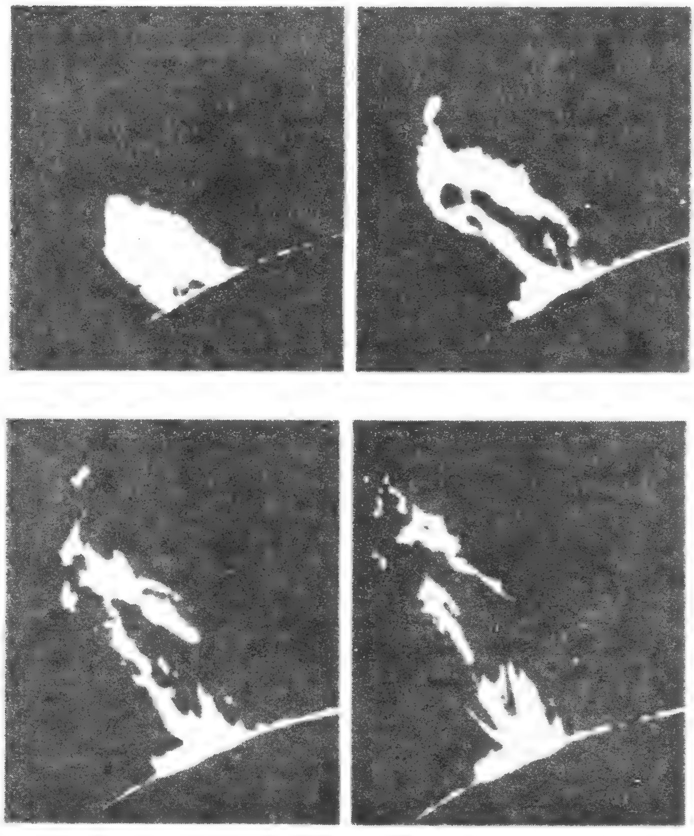


Рис. 27. Протуберанец. *Проследите его развитие*

§ 12. СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И ЕЕ ЗЕМНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ

1. СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ. Совокупность различных явлений на Солнце (пятна, факелы, протуберанцы, хромосферные вспышки) называется солнечной активностью.

Все проявления солнечной активности тесно связаны друг с другом. Так, солнечные пятна всегда связаны с факелами, хромосферные вспышки и протуберанцы в большинстве случаев развиваются над «возмущенной» фотосферой и т. д. Области на Солнце, где наблюдаются факелы, пятна, вспышки, протуберанцы, называются *активными областями*. Магнитное поле Солнца невелико, но активные области возникают и развиваются лишь в тех участках Солнца, где временно усиливается магнитное поле.

Не только для появления пятен, но и для солнечной активности в целом характерна также 11-летняя цикличность. В годы максимума солнечной активности на Солнце много активных областей (*«возмущенное»* Солнце). В *годы минимумов* их мало («спокойное» Солнце). В *годы максимумов* активности резко возрастает излучение Солнца в коротковолновом диапазоне (с. 108), и в космическое пространство Солнце посылает особенно много электрических заряженных частиц высоких энергий (с. 109). Как же влияют процессы, происходящие на Солнце, на околоземное пространство и на атмосферу Земли?

2. ПРОБЛЕМА «СОЛНЦЕ — ЗЕМЛЯ». Эта проблема, связывающая солнечную активность с ее воздействием на Землю, находится на стыке астрономии, физики, геофизики, биологии и медицины. Удалось не только накопить множество фактов, но и обнаружить закономерности, имеющие народнохозяйственное значение. Так, например, изучая состояние ионосферы (а оно непосредственно зависит от солнечной активности), прогнозируют условия радиосвязи. Давно известно, что происходящие на Земле магнитные бури, т. е. кратковременные изменения магнитного поля и связанные с ними колебания магнитной стрелки, особенно заметны в дневное время и в годы максимума солнечной активности. Магнитные бури обычно сопровождаются свечением верхних слоев атмосферы. Это *полярные сияния* — одно из красивейших явлений природы. Необычная игра красок, внезапная смена спокойного свечения стремительным перемещением дуг, полос и лучей, образующих то гигантские шатры, то величественные занавесы, издавна привлекали к себе людей. Полярные сияния, как правило, происходят в полярных областях земного шара. В старину зловещее красноватое

освещение Земли и неба во время полярных сияний пугало суеверных людей. Науке удалось объяснить окраску полярных сияний: наиболее интенсивными в спектрах полярных сияний являются зеленая линия ($\lambda = 5577$ Å) и красные линии ($\lambda = 6300$ Å, $\lambda = 6363$ Å), принадлежащие атомам кислорода земной атмосферы. Теперь уже ясно, что магнитные бури, полярные сияния и радиационный пояс Земли тесно связаны с солнечным ветром (с. 109)

Существует связь между явлениями на Солнце и формирующими погоду процессами в нижних слоях земной атмосферы. Но солнечное излучение не непосредственно воздействует на тропосферу, а, по-видимому, влияет на нее через крупномасштабные процессы в верхней атмосфере Земли.

В последнее время все большее внимание ученых привлекают разнообразные явления в биосфере, которые, как показывают наблюдения, связаны с солнечной активностью. Так, биологи отмечают, что в течение 11-летнего цикла солнечной активности происходят изменения в приросте лесонасаждений, в условиях существования отдельных видов животных, птиц, насекомых. Врачи заметили, что в годы максимумов солнечной активности заметно обостряются некоторые заболевания. Изучение этих очень сложных солнечно-земных связей только начинается.

Для того чтобы всесторонне исследовать явления, происходящие на Солнце, проводятся систематические наблюдения Солнца («служба Солнца») в многочисленных советских и зарубежных обсерваториях. Солнце исследуют с помощью аппаратуры, установленной на борту межпланетных космических станций, искусственных спутников Земли, орбитальных научных станций. Одна из основных и пока еще не решенных задач «службы Солнца» — предсказание (прогноз) солнечных вспышек. Прогнозы вспышек позволят своевременно предотвратить нарушения радиосвязи, а также принять меры, необходимые для обеспечения безопасного пребывания человека в открытом космосе.

Изучение воздействия Солнца на Землю требует объединения усилий ученых многих стран. В историю науки уже вошли «Международный геофизический год» — МГГ (1957—1958), проводившийся во время мощного максимума солнечной активности, и «Международный год спокойного Солнца» — МГСС (1964—1965), который был приурочен к минимуму солнечной активности. В МГСС приняли участие свыше 70 стран. Наблюдения проводились на всех континентах Земли; данные о процессах, происходящих на Солнце и Земле, были получены с помощью приборов, находящихся на искусственных спутниках Земли и космических ракетах, на горных

вершинах и в глубинах океанов. Инициатором проведения МГСС и одним из крупнейших его участников был Советский Союз. Комплексные исследования Солнца продолжаются и в настоящее время.

Упражнение 11. 1. Какие вы знаете проявления солнечной активности? 2. Проследите связь между различными проявлениями солнечной активности. 3. Последний минимум солнечной активности был в 1975 г. Какое сейчас Солнце — «спокойное» или «возмущенное»? 4. Начертите схему, показывающую связь солнечной активности с явлениями на Земле. 5. Продолжайте выполнение задания 22; выполните задание 23 (с. 130).

Что вы должны запомнить, изучив вторую тему курса

1. Астрономия — древнейшая из наук. Она возникла из практических потребностей человека.
2. Первые представления людей о Вселенной были очень наивными и далекими от истины. Их сменило учение о геоцентрической системе мира. Это ошибочное по своей сути учение поддерживала церковь.
3. В XVI в. Николай Коперник противопоставил геоцентрической системе мира новое учение — гелиоцентрическую систему мира.
4. В обоснование и развитие гелиоцентрической системы большой вклад внесли Джордано Бруно, Галилео Галилей, Иоганн Кеплер, Исаак Ньютон, М. В. Ломоносов.
5. Законы Кеплера и закон всемирного тяготения — основные законы небесной механики и астродинамики. Уточнив законы Кеплера, Ньютон получил их в более общем виде.
6. Триумфом небесной механики было открытие «на кончике пера» планеты Нептун.
7. Существуют различные методы определения расстояний до тел Солнечной системы (привести примеры).
8. Единица масштаба в Солнечной системе — астрономическая единица (1 а. е. $\simeq$ 149,6 млн. км).
9. Луна — ближайшее к Земле небесное тело (большая полуось лунной орбиты равна 384,4 тыс. км).
10. С Земли видна одна сторона Луны.
11. Фазы Луны зависят от расположения Луны относительно Земли и Солнца.
12. Солнечные затмения происходят, когда Луна заслоняет от нас Солнце. Лунные затмения происходят, когда Луна при своем движении вокруг Земли попадает в тень Земли.
13. Луна в 4 раза меньше Земли по диаметру и в 81 раз меньше Земли по массе.
14. У Луны нет атмосферы. День и ночь на Луне длятся почти по две земных недели.
15. Основные детали лунного рельефа — моря и кольцевые горы (кратеры, цирки).

16. На обратной стороне Луны, сфотографированной с помощью автоматических межпланетных станций и искусственных спутников Луны, преобладают материки.
17. Лунный грунт состоит из хорошо известных на Земле химических элементов. Возраст грунта, доставленного из лунных морей, около 3 млрд. лет, а из материков — 4 млрд. лет.
18. Вокруг Солнца движутся 9 больших планет. Они по своим физическим характеристикам делятся на планеты земной группы (Меркурий, Венера, Земля, Марс и, вероятно, Плутон) и планеты-гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун).
19. Планеты, принадлежащие к одной группе, например планеты земной группы, имеют не только черты сходства, но и значительно отличаются друг от друга (привести примеры).
20. Ряд важнейших сведений о поверхностях, атмосферах и некоторых характеристиках планет земной группы были получены средствами космонавтики и радиоастрономическими методами (привести примеры).
21. Кроме больших планет вокруг Солнца движется множество астероидов и комет.
22. При своем движении вокруг Солнца Земля встречается с крохотными метеорными телами (например, с остатками разрушающихся комет) или довольно большими каменными или железными глыбами, возможно, принадлежавшими астероидам.
23. Солнце — источник света и тепла в Солнечной системе, единственная в ней звезда.
24. Диаметр Солнца в 109 раз больше диаметра Земли, а масса Солнца в 330 000 раз превышает массу Земли.
25. Солнце — раскаленный плазменный шар, в основном состоящий из водорода и гелия. Температура фотосферы около 6000 К.
26. В фотосфере Солнца временами появляются пятна и факелы, в хромосфере — вспышки, в короне — протуберанцы.
27. Солнечная активность — причина разнообразных явлений в околоземном космическом пространстве, в земной атмосфере и на Земле (привести примеры). Средняя продолжительность цикла солнечной активности составляет 11 лет.

III. ЗВЕЗДЫ И ГАЛАКТИКИ

§ 13. ПРИРОДА ЗВЕЗД

В телескоп звезды видны как точечные светящиеся объекты. Как и какую информацию удалось получить о них? Как узнали, что в этих «точках», а на самом деле огромных раскаленных плазменных шарах, сосредоточено более 98% массы космического вещества Вселенной? Остальное вещество находится преимущественно в виде разреженной межзвездной среды (с. 110). На долю планет, как мы убедились на примере Солнечной системы, приходится небольшое (по сравнению со звездами) количество вещества.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ ДО ЗВЕЗД. Звезды находятся от нас значительно дальше, чем тела Солнечной системы. Даже от ближайших звезд свет идет несколько лет. Расстояние, проходимое светом за один год, называется *световым годом*.

41*. *Во сколько раз световой год больше астрономической единицы?*

Угол (π), под которым со звезды был бы виден средний радиус земной орбиты (a), расположенный перпендикулярно направлению на звезду, называется годичным параллаксом (рис. 28).

В тех случаях, когда удается определить величину (π), расстояние до звезды вычисляется по формуле

$$\Delta = \frac{a}{\sin\pi}. \qquad (7)$$

Угол (π) всегда очень мал (меньше 1″). Для малых углов

$$\sin\pi'' = \pi \sin 1'' = \pi \frac{1}{206\,265}$$

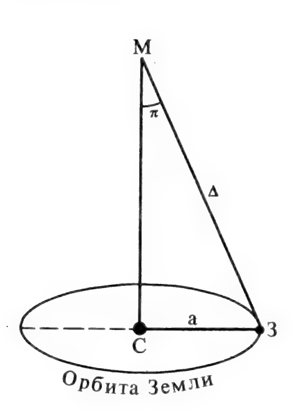


Рис. 28. Определение расстояний до звезд

Поэтому формулу (7), дающую расстояние до звезды в астрономических единицах, можно записать в виде

$$\Delta = \frac{206\,265\,a}{\pi}. \quad (8)$$

Расстояние до звезды, которое соответствует параллаксу в 1″, называется *парсеком* (от сокращения слов параллакс и секунда, пк):

$$1_{\text{пк}} = 206\,265 \text{ а. е.}$$

Очевидно, что расстояние до звезды в парсеках легко вычислить по формуле

$$\Delta = \frac{1}{\pi}. \quad (9)$$

42 . *Сколько световых лет содержится в 1 пк?*

Самая близкая к нам звезда находится в созвездии Центавра (Проксима Центавра). Ее годичный параллакс 0,762″.

43* . *Вычислите расстояние до Проксимы Центавра в парсеках, световых годах и километрах.*

Менее чем полтора века назад удалось впервые определить расстояние до звезды (Веги), а сейчас уже известны параллаксы нескольких тысяч звезд. При измерении расстояний до космических объектов, удаленных на тысячи парсек (10^3пк = 1 *килопарсек* = 1 Кпк) или миллионы парсек (10^6 пк = 1 мегапарсек = 1 Мпк), применяются другие методы (с. 64, 77).

44* . *Как вы думаете, почему на протяжении тысячелетий вид созвездий практически не меняется?*

2. ЦВЕТ И ТЕМПЕРАТУРА ЗВЕЗД. Внимательно рассматривая звездное небо, можно заметить, что звезды имеют различный цвет. Подобно тому как по цвету раскаленного металла можно судить о его температуре, цвет звезды свидетельствует о температуре ее поверхностных слоев. *Наше Солнце — желтая звезда*. Такого же цвета Капелла, температура которой около 6000 К. Звезды, имеющие температуру 3500—4000 К, оранжевого цвета (Альдебаран). Температура красных звезд (Бетельгейзе) примерно 3000 К. Самые холодные из наблюдаемых звезд имеют температуру, близкую к 1000 К. Такие звезды доступны наблюдениям в инфракрасной части спектра.

Известно много звезд, более горячих, чем Солнце. К ним относятся белые звезды (Сириус, Денеб, Вега, Спика) с температурами 10 000—20 000 К. Реже встречаются голубовато-белые и голубые звезды с температурами 30 000—50 000 К. Когда говорят о температуре звезды, то имеют в виду тем-

пературу ее фотосферы. В недрах звезд температура не менее десяти миллионов градусов.

3. СПЕКТРЫ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗВЕЗД. Важнейшие сведения о природе звезд астрономы получают, расшифровывая их спектры. Спектры большинства звезд, как и спектр Солнца, представляют собой спектры поглощения: на фоне непрерывного спектра видны темные линии.

Спектры звезд отличаются друг от друга распределением энергии в непрерывном спектре, а также количеством и интенсивностью линий (с. 114). В основном звезды имеют сходный химический состав: самыми распространенными элементами в них являются водород и гелий. Разнообразие звездных спектров объясняется прежде всего тем, что звезды имеют разную *температуру*. От температуры зависят физическое состояние, в котором находятся атомы вещества в звездных атмосферах, и вид спектра.

4. АБСОЛЮТНЫЕ ЗВЕЗДНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И СВЕТИМОСТИ ЗВЕЗД. Звездная величина, которую имела бы звезда, если бы она находилась от нас на расстоянии 10 пк, называется абсолютной звездной величиной (M).

Разность между видимой и абсолютной звездными величинами ($m - M$) зависит от расстояния до звезды (r) и вычисляется по формуле

$$m - M = 5\lg r - 5 . \quad (10)$$

Если звезда удалена от нас на расстоянии 10 пк, то ее абсолютная звездная величина по определению равна видимой звездной величине. Это же следует и из (10): при $r =$ 10 пк.

В тех случаях, когда независимо от формулы (10) удается определить m и M, то из нее можно вычислить расстояние до звезды:

$$\lg r = \frac{m - M + 5}{5} . \quad (11)$$

45*. *Экваториальные координаты яркой звезды $\alpha = 18^ч\ 35^м$, $\delta = 38°\ 44'$. Какая это звезда? Вычислите расстояние до нее, если известно, что видимая и абсолютная звездные величины ее соответственно равны $0,1^m$ и $0,5^m$.*

В отличие от видимой звездной величины абсолютная звездная величина может рассматриваться как физическая характеристика звезды. Действительно, зная, что у одной звезды $M_1 = 5^m$, а у другой $M_2 = -5^m$, можно утверждать, что вторая звезда обладает большей светимостью, т. е. излучает больше энергии в единицу времени, чем первая.

Звезды имеют различную *светимость*. Звезды, светимость которых в сотни и тысячи раз превосходит светимость

Солнца, называются *гигантами* и *сверхгигантами*. Пример звезды-гиганта — α Тельца (Альдебаран), светимость которой почти в 150 раз больше светимости Солнца ($L \approx 150\ L_{С}$). Пример звезды-сверхгиганта — β Ориона (Ригель), $L \approx 64\,000\ L_{С}$.

Звезды, светимость которых сравнима со светимостью Солнца или значительно меньше ее, называются *карликами*.

Упражнение 12. 1. Какие из самих ярких звезд (II, 132; VII, 134) относятся к гигантам (сверхгигантам) и карликам? 2. Что такое светимость звезды? 3. Какие вы знаете два способа определения расстояний до звезд? 4. Выполните задание 24 (с. 130).

§ 14. ДВОЙНЫЕ ЗВЕЗДЫ. МАССЫ И СРЕДНИЕ ПЛОТНОСТИ ЗВЕЗД

1. ПОНЯТИЕ О ДВОЙНЫХ ЗВЕЗДАХ. При остром зрении даже невооруженным глазом можно увидеть рядом со звездой Мицар (средняя звезда в «ручке ковша» Б. Медведицы) слабую звездочку — Алькор. Мицар и Алькор — наиболее известная двойная звезда. Вообще же двойные звезды встречаются довольно часто. По-видимому, не менее половины всех звезд образуют физические двойные системы, в которых каждая из двух звезд (или каждый компонент) совершает движение вокруг общего центра масс системы. Конечно, иногда двойственность звезды бывает кажущейся: пространственно далекие и не связанные друг с другом звезды просто случайно видны почти в одном направлении. Такие звезды называются *оптически-двойными* звездами.

Звезды, двойственность которых обнаруживается при телескопических наблюдениях, называются *визуально-двойны-*

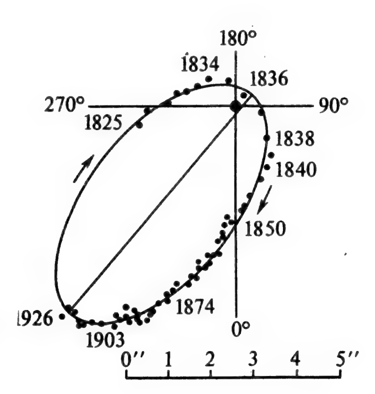


Рис. 29. Эллиптическая орбита спутника γ Девы относительно главной звезды. Точки соответствуют данным наблюдений в указанные годы. *Оцените период обращения спутника*

ми (рис. 29). Обычно это системы, в которых звезды отдалены друг от друга на расстоянии в сотни и даже тысячи астрономических единиц, а периоды обращения составляют сотни лет. Пример визуально-двойной звезды — α Близнецов (Кастор). Расстояние между наиболее яркими ее компонентами (*А* и *В*) около 100 а. е., а период обращения, как следует из III закона Кеплера, около 500 лет. Звезды *А* и *В* Кастора, в свою очередь, тоже двойные. Их компоненты находятся друг от друга на расстоянии всего нескольких сотых долей астрономической единицы. Такие тесные пары двойных звезд называются *спектрально-двойными,* поскольку лишь спектральные наблюдения могут показать, что перед нами не одна звезда, а две. Нетрудно сообразить, что векторы орбитальных скоростей звезд, входящих в двойную систему, направлены противоположно. В астрофизике огромное значение имеет эффект Доплера, согласно которому линии в спектре источника света, приближающегося к наблюдателю, смещаются к фиолетовому концу, а удаляющегося — к красному. Вследствие эффекта Доплера линии в спектрах спектрально-двойных звезд периодически раздваиваются. Это и позволяет по спектрам определить двойственность звезд.

Если плоскость орбиты двойной звезды почти совпадает с лучом зрения наблюдателя, то время от времени одна звезда будет заслонять другую, и наблюдатель увидит, что блеск звезды периодически изменяется. Такие звезды называются *затменно-двойными*. Определяя из наблюдений блеск затменно-двойной звезды, можно построить кривую, которая называется *кривой блеска* переменной звезды. Разность звездных величин в минимуме и максимуме блеска называется *амплитудой*, а промежуток времени между двумя последовательными максимумами (или минимумами) — *периодом изменения* блеска (рис. 30).

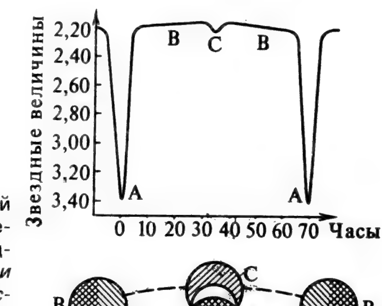


Рис. 30. Кривая блеска затменной переменной β Персея (Алголь) и схема, поясняющая строение этой звездной системы. *Определите период и амплитуду изменения блеска и объясните, как возникают главный и вторичный минимумы блеска*

Из анализа кривых блеска затменно-двойных звезд можно определить ряд физических характеристик звезд, например их радиусы. Это один из методов определения размеров звезд. Оказывается, что по своим размерам, как и по светимости, **Солнце — рядовая звезда**. Существуют звезды, значительно большие и меньшие, чем Солнце (VII, 134). Радиусы сверхгигантов в сотни раз превосходят радиус Солнца. Например, радиус звезды α Скорпиона (Антареса) не менее чем в 700 раз превосходит солнечный. Звезды-карлики отличаются своими малыми размерами: некоторые из них меньше Земли и даже Луны.

46•. *Радиус звезды α Ориона (Бетельгейзе) примерно в 800 раз больше радиуса Солнца. Попробуйте изобразить в одном масштабе три пары небесных тел: Бетельгейзе и Солнце, Солнце и Землю, Землю и Луну.*

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАСС ЗВЕЗД. К системам двойных звезд применимы закон всемирного тяготения и уточненные Ньютоном законы Кеплера. (Почему?) Это позволяет определить важнейшую физическую характеристику звезды — ее массу. Пусть массы компонентов двойной звезды будут m_1 и m_2, T — период обращения, A — большая полуось орбиты. Тогда, обозначив через $m_С$ и $m_З$ — массы Солнца и Земли, $T_З$ — период обращения Земли и, наконец, a — большую полуось земной орбиты, можно написать:

$$\frac{(m_1 + m_2)\,T^2}{(m_С + m_З)\,T_З^2} = \frac{A^3}{a^3}.$$

Если принять массу Солнца за единицу ($m_С = 1$) и учесть, что $m_З \ll m_С$, $T_З = 1$ год, $a = 1$ а. е., то

$$m_1 + m_2 = \frac{A^3}{T^2}. \qquad (12)$$

47*. *Определите массу каждого компонента двойной звезды, если известно отношение их расстояний от центра масс системы (A_1 и A_2).*

Массы звезд различны. Однако в отличие от светимостей и размеров массы звезд заключены в сравнительно узких пределах: самые массивные звезды лишь в десятки раз превосходят Солнце, а наименьшие массы звезд составляют примерно 0,02 $m_С$. Важным достижением астрофизики XX века по праву считается установление связи между основными физическими характеристиками звезд (с. 114).

3. СРЕДНИЕ ПЛОТНОСТИ ЗВЕЗД. Так как размеры звезд различаются значительно больше, чем их массы, то и средние плотности звезд сильно отличаются друг от друга. У гигантов и сверхгигантов плотность очень мала. Например, плотность Бетельгейзе около 10^{-3} кг/м^3. Вместе с тем существуют чрез-

вычайно плотные звезды. К ним относятся небольшие по размерам *белые карлики*, названные так за свой белый цвет, обусловленный высокой температурой. Например, плотность вещества белого карлика Сириус *B* в 40 тыс. раз больше плотности воды. В настоящее время известны еще более плотные белые карлики.

48•. *Сравните средние плотности Бетельгейзе, Солнца и белого карлика Сириус B.*

Как и обычные звезды, белые карлики состоят из атомных ядер и оторванных от них электронов. Но в веществе белых карликов ядра атомов сближены и в каждом кубическом сантиметре их содержится очень много. Этим объясняется огромная плотность белых карликов. Сейчас известны звезды, плотности которых значительно превышают плотности белых карликов (с. 73).

Упражнение 13. 1. Основываясь на сведениях о двойных звездах, обоснуйте всемирность открытого Ньютоном закона тяготения. 2. Выполните задание 25 (с. 130).

§ 15. НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ЗВЕЗДЫ

Мы уже знаем, что Солнце — рядовая и во многих отношениях обыкновенная звезда. Но во Вселенной немало звезд, которые по праву могут быть названы необыкновенными. Что же это за звезды?

1. ЦЕФЕИДЫ. Известны десятки тысяч звезд, блеск которых меняется вследствие происходящих на них физических процессов (не путать с мерцанием звезд — оптическим явлением, которым сопровождается прохождение света от любой звезды через неспокойную земную атмосферу). Такие звезды называются *физическими переменными.* К ним относятся,

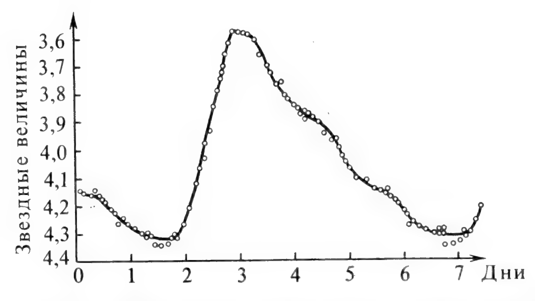
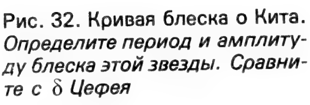


Рис. 31. Кривая блеска физической переменной звезды δ Цефея. *Каковы период и амплитуда изменения блеска этой звезды?*

например, *цефеиды*, которым присущи особенности звезды δ Цефея (рис. 31). Блеск δ Цефея непрерывно изменяется, причем возрастает быстрее, чем ослабевает после максимума. Форма кривой все время в точности повторяется. Значит, δ Цефея — *периодическая* переменная звезда. Существуют цефеиды с меньшими периодами (до нескольких часов, это короткопериодические цефеиды) и с бо́льшими (до нескольких десятков суток). Цефеиды — это пульсирующие звезды, которые периодически раздуваются и сжимаются. При этом изменяются размеры звезды, ее температура и светимость.

Цефеиды видны с больших расстояний, так как они относятся к звездам-гигантам и, следовательно, имеют огромные светимости. Это позволяет обнаруживать цефеиды в далеких звездных системах (например, в звездных скоплениях, с. 116), а затем и определять расстояния до этих систем. Вот почему цефеиды называют «маяками» Вселенной.

2. ПОНЯТИЕ О ДРУГИХ ФИЗИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗДАХ. Цефеиды — это лишь один из многочисленных типов физических переменных звезд. Первая переменная звезда была открыта еще в XVI в. в созвездии Кита (о Кита). Это — Мира Кита или «Удивительная» Кита. Ее колебания блеска происходят с периодом около 330 сут, причем блеск в максимуме достигает 2^m, а в минимуме 9^m (рис. 32). Впоследствии было открыто много других звезд типа Миры Кита. Преимущественно, это «холодные» звезды-гиганты; изменение блеска таких звезд, по-видимому, связано с пульсацией и периодическими извержениями горячих газов из недр звезды в более высокие слои атмосферы.



Звездные величины 3,0 5,0 7,0 9,0
0 200 400 600 Сутки

Рис. 32. Кривая блеска о Кита. *Определите период и амплитуду блеска этой звезды. Сравните с δ Цефея*

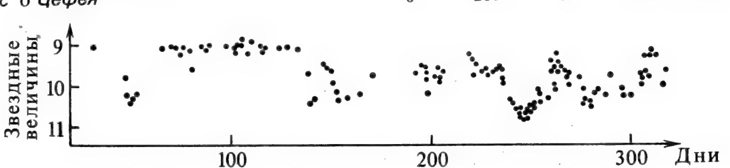


Рис. 33. Так изменяется блеск неправильной физической переменной звезды. *Объясните происхождение названия этого типа звезд*

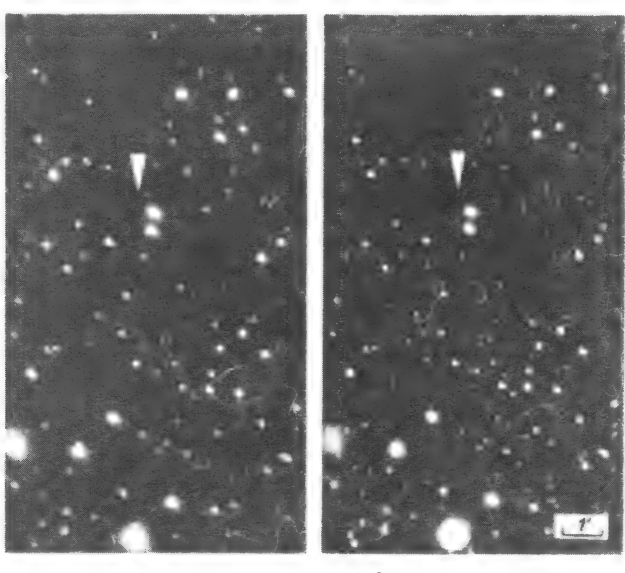
Известно немало звезд, в изменении блеска которых нельзя обнаружить какую-либо закономерность. На рис. 33 изображена кривая блеска одной из таких звезд.

Внимание астрономов привлекают *красные карлики,* блеск которых неожиданно возрастает в сотни, а иногда и тысячи раз в течение минут или даже секунд. Такие звезды называются *вспыхивающими.* Их наблюдают в нескольких советских (Бюраканская, Крымская, Одесская и др.) и зарубежных обсерваториях. Оптические вспышки сопровождаются радиовспышками и мощным ультрафиолетовым излучением. Вспышки переменных звезд превосходят по масштабам хромосферные вспышки на Солнце.

3. НОВЫЕ И СВЕРХНОВЫЕ ЗВЕЗДЫ. Среди различных видов нестационарных звезд особый интерес представляют *новые и сверхновые* звезды. На самом деле, это не только что появившиеся звезды, а ранее существовавшие звезды, которые привлекли к себе внимание внезапным возрастанием блеска (рис. 34, *а, б*). У новых звезд блеск иногда увеличивается на 13^m, а у сверхновых — на 19^m!

49•. *Во сколько раз возрастает блеск звезд, вспыхивающих как сверхновые?*

Вспышка сверхновой звезды характеризуется стремительным нарастанием блеска и светимости, а затем их медленным



а)

август 1971 г. 12 — 13 августа 1975 г.

падением. В максимуме блеска линии в спектрах сверхновых сильно смещены к фиолетовому концу. Величина и направление смещения спектральных линий соответствуют приближению излучающей поверхности звезды к наблюдателю со скоростью в несколько тысяч километров в секунду. Картина вспышки сверхновых звезд свидетельствует о том, что сверхновые – это взрывающиеся звезды. При взрывах сверхновых выделяется огромная энергия — порядка 10^{41} Дж.

50•. *За сколько лет Солнце может излучить энергию, которая выделяется при вспышке сверхновой звезды?*

В максимуме блеска одна сверхновая звезда может светить ярче миллиарда звезд, подобных нашему Солнцу. Известны взрывы сверхновых звезд, сопровождающиеся выбросом вещества массой в несколько солнечных масс со скоростью $5 \cdot 10^3$ – $7 \cdot 10^3$ км/с. Остатки оболочек, сброшенных сверхновыми звездами, видны долгое время как расширяющиеся газовые туманности.

Вспышки сверхновых звезд относятся к очень редким явлениям. Нашему Солнцу подобная вспышка не угрожает. Не исключено, что в очень далеком прошлом в окрестностях Солнца вспыхивали сверхновые звезды и их излучение могло повлиять на развитие жизни на Земле. За последнее тысячелетие в нашей звездной системе наблюдалось всего лишь



29 — 30 августа 1976 г.

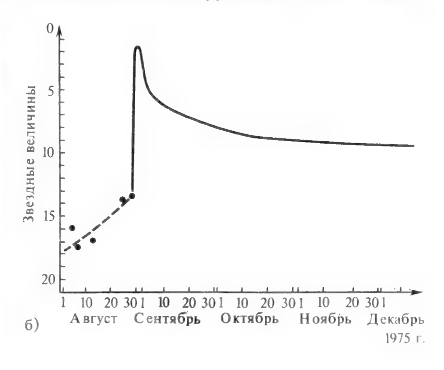


Рис. 34. Новая Лебедя. Вспыхнув, эта звезда стала ярче всех соседних звезд и очень изменила вид созвездия Лебедя: *а)* фотографии звезды до и во время вспышки (масштаб на снимках одинаков), *б)* кривая блеска вспыхнувшей звезды. *Во сколько раз возрос блеск звезды?*

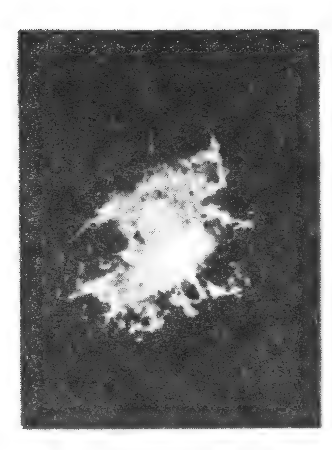


Рис. 35. Крабовидная туманность (созвездие Тельца), находящаяся от нас на расстоянии 6000 световых лет

несколько вспышек сверхновых. Из них наиболее достоверно установлены следующие три: вспышка в 1054 г. в созвездии Тельца; в 1572 г. — в созвездии Кассиопеи; в 1604 г. — в созвездии Змееносца. Первая из этих сверхновых описана как «звезда-гостья» китайскими и японскими астрономами. Ее блеск превосходил блеск Венеры, и она была видна днем. На месте вспыхнувшей в 1054 г. сверхновой звезды находится одна из самых замечательных газовых туманностей. На фотографии ее волокна выглядят, как щупальца краба. Отсюда и ее название — Крабовидная туманность (рис. 35). Туманность расширяется со скоростью более 1000 км/с и излучает в радио-, оптическом, рентгеновском и гамма-диапазонах. Крабовидная туманность — поистине неисчерпае-

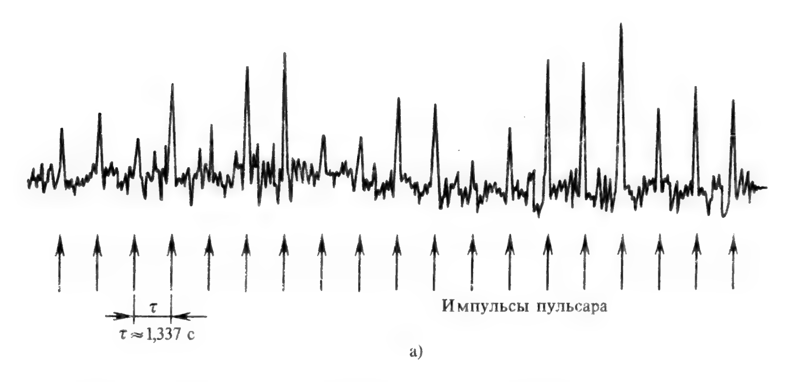


Рис. 36 (*а*). Пример записи радиоизлучения пульсара

мый источник астрофизических открытий. Слабая звездочка, расположенная в центре Крабовидной туманности, оказалась «звездным огарком», уцелевшим после взрыва сверхновой звезды. Это сверхплотная быстро вращающаяся звезда. Ее диаметр всего лишь около 20 км. В атомах такой звезды электроны «вдавлены» в протоны. Звезда состоит из плотно упакованных нейтронов и поэтому называется *нейтронной звездой*. В процессе образования нейтронной звезды происходило не только уплотнение вещества (до плотности, сравнимой с плотностью ядер!), но и резко возросло магнитное поле. Быстро вращающаяся нейтронная звезда, обладающая огромным магнитным полем, способна излучать импульсы оптического и радиоизлучения. Это и позволило открыть нейтронные звезды (1967) как источники мощного и очень стабильного импульсного радиоизлучения. Такие объекты были названы *пульсарами*. Мы принимаем радиоизлучение пульсара, когда излучающая область нейтронной звезды направлена на нас. Но так как нейтронная звезда очень быстро вращается (пульсар в Крабовидной туманности делает один оборот за 0,033...с!), то с периодом, равным периоду вращения пульсара, чередуются импульсы его излучения. В целом пульсар подобен «радиомаяку» (рис. 36, *а, б*).

Прошло несколько десятилетии с тех пор, как выдающиеся физики-теоретики (одним из них был советский академик Л. Д. Ландау) предсказали, что во Вселенной должны существовать нейтронные звезды. Сейчас уже открыто более 150 пульсаров, представляющих собой нейтронные звезды.

Упражнение 14. 1*. Придумайте схему, которая могла бы помочь вам классифицировать и систематизировать имеющиеся у вас сведения о различных типах звезд. 2. Экваториальные координаты Крабовидной туманности $\alpha = 5^{ч}\ 31^{м}$, $\delta = 21^{\circ}59'$. Найдите ее на звездной карте. 3, Выполните задание 26 (с. 130).

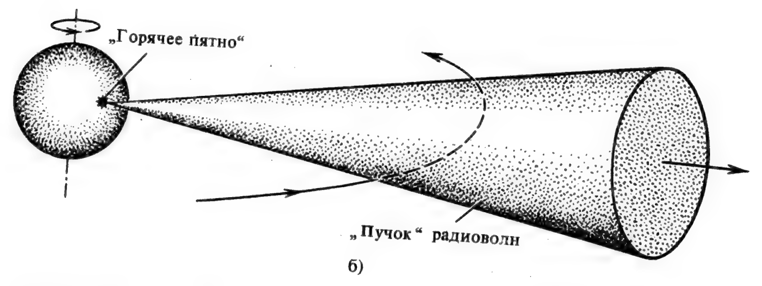


Рис. 36 (*б*) модель пульсара

§ 16. ГАЛАКТИКИ

Теперь нам предстоит выяснить, каково строение Вселенной, какое место в ней занимает наша звезда — Солнце.

1. НАША ГАЛАКТИКА. В безлунную осеннюю ночь хорошо заметна тянущаяся через все небо светлая полоса. Это *Млечный Путь*. Он опоясывает все небо; у него нет резких границ, а разные участки имеют неодинаковую ширину и яркость. Направив на Млечный Путь бинокль или небольшой телескоп, можно убедиться в том, что свет Млечного Пути исходит от множества неразличимых невооруженным глазом звезд. В отдельных участках Млечного Пути звезд почти не видно: там звезды заслонены от нас *облаками темной материи.*

Звезды, которые мы видим невооруженным глазом и в телескоп, входят в состав Галактики. Подавляющая часть звезд Галактики занимает объем линзообразной формы (диаметром около 30 000 пк и толщиной 2500 пк). Именно здесь сосредоточены звезды Млечного Пути (слово «Галактика» произошло от греческого слова «млечный»).

51•. *Сколько времени потребуется свету, чтобы пересечь Галактику по ее диаметру?*

Если бы мы могли взглянуть на галактический диск сверху, то обнаружили бы огромные ветви или *спиральные рукава,* состоящие из звезд, пыли и газа. Спирали Галактики выходят из находящегося в ее центре *ядра.* Ядро расположено в направлении созвездия Стрельца.

Звезд по массам и светимостям, сравнимых с Солнцем, в Галактике не менее 150 млрд. Солнце находится не в центре Галактики, а на расстоянии около 10 000 пк, т. е. достаточно удалено от центра нашей Галактики. Солнце и ближайшие к нему звезды движутся вокруг центра Галактики со скоростью, примерно равной 250 км/с, совершая полный оборот примерно за 200 млн. лет («галактический год»).

52•. *Сравните скорость движения Земли вокруг Солнца со скоростью движения Солнца вокруг центра Галактики.*

Звезды составляют лишь остов Галактики. В целом же Галактика — это совокупность звезд и обращающихся вокруг них планет, звездных систем различной сложности (двойные звезды, кратные звезды, скопления звезд), межзвездной среды и космических лучей (ядер атомов водорода, гелия и других химических элементов, движущихся со скоростями, близкими к скорости света). Материя в Галактике встречается в двух основных видах. Это, во-первых, *вещество* (преимущественно плазма, из которой состоят звезды, меж-

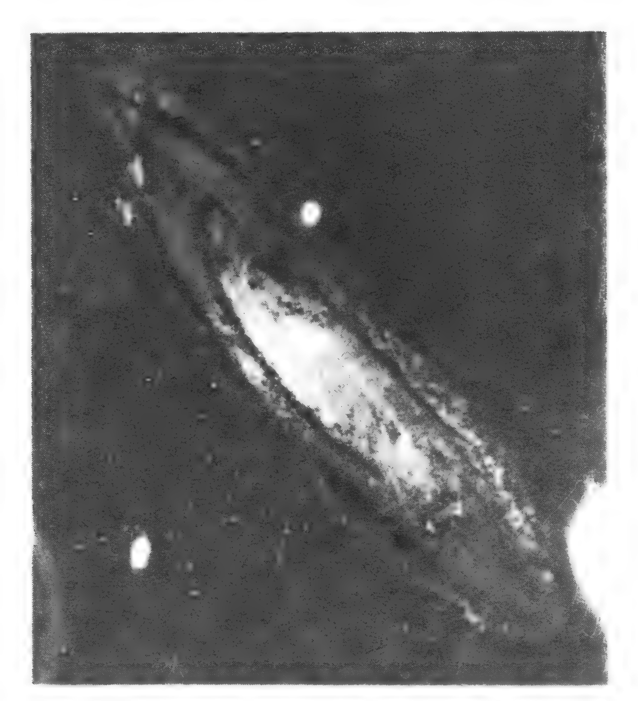


Рис. 37. Галактика в созвездии Андромеды. Ее отделяют от нас 2 млн. световых лет. *Обратите внимание на спиральные ветви галактики и на ее спутники. Эта галактика очень сходна с нашей Галактикой*

звездный газ, космические лучи и твердая фаза, присущая, по-видимому, большинству планет и межзвездной пыли). Во-вторых, — это *поля* (электромагнитные, гравитационные).

2. ДРУГИЕ ГАЛАКТИКИ. В XX в. было доказано, что существует множество других галактик, каждая из которых, подобно нашей, состоит из миллиардов звезд. Мир галактик поражает своим разнообразием. В *гигантских* галактиках сотни миллиардов звезд, в *карликовых* — всего лишь несколько миллионов. Самые яркие галактики имеют светимость, в миллионы раз бо́льшую, чем светимость наиболее слабых по блеску. Размеры гигантских галактик достигают 50 000 пк, а карликовых — не превышают нескольких сотен парсек. Одну из гигантских галактик можно увидеть невооруженным глазом как едва заметное туманное пятнышко в созвездии Андромеды (рис. 37). Наша Галактика и галактика в Андромеде —

спиральные галактики. Это наиболее распространенный тип галактик.

3. РАДИОГАЛАКТИКИ И КВАЗАРЫ. Некоторые галактики обладают исключительно мощным радиоизлучением. Их называют *радиогалактиками*. Одна из таких галактик (Лебедь *А*) находится от нас на расстоянии около 200 млн. пк. В отличие от нашей Галактики она излучает в радиодиапазоне больше энергии, чем в оптическом диапазоне. В созвездии Девы расположена радиогалактика (Дева *А*), находящаяся от нас на расстоянии 20 млн. пк. На снимках этой гигантской галактики удалось обнаружить целую гирлянду сгустков газа, выброшенного из ее ядра (рис. 38). Масса каждого из сгустков в миллионы раз больше массы Солнца, а кинетическая энергия — порядка 10^{48}Дж.

53•. *При одновременном взрыве скольких сверхновых звезд могла бы выделиться такая энергия?*

Мощное радиоизлучение и выброс облаков газа свидетельствуют об активных и пока еще малоизученных процессах, происходящих в ядрах радиогалактик. Одним из первых гипотезу об активности ядер галактик и о происходящих в них взрывоподобных процессах выдвинул советский астрофизик академик В. А. Амбарцумян.

В 1963 г. было обнаружено несколько звездоподобных источников радиоизлучения. В дальнейшем ежегодно открывались десятки таких объектов, получивших название *квазаров*, т. е. звездоподобных радиоисточников. Самый яркий квазар, имеющий обозначение 3С 273 (3С — сокращенное название третьего Кембриджского каталога радиоисточников), виден,

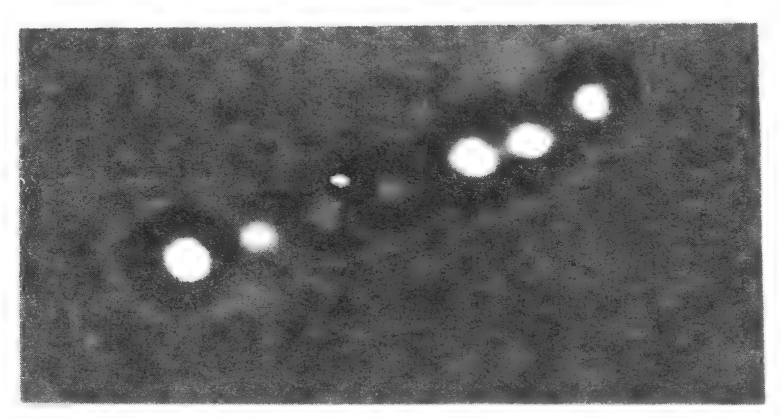


Рис. 38. Гигантская «стреляющая» галактика (созвездие Девы)

как звезда $12{,}6^m$. В действительности этот квазар излучает больше энергии в оптическом диапазоне, чем самые яркие галактики. В радиодиапазоне мощность излучения 3С 273 сравнима с радиоизлучением Лебедя *А*. Кроме того, этот квазар оказался одним из самых мощных источников рентгеновского излучения. Внимательно изучая старые фотографии участка звездного неба, полученные на протяжении нескольких десятилетий, обнаружили, что блеск квазара периодически изменяется. Это позволило оценить размеры квазара. Оказалось, что диаметр квазара 3С 273 порядка световой недели, т. е. квазар значительно больше, чем обычные звезды, но гораздо меньше, чем, например, наша Галактика. Вероятно, таковы же размеры и других квазаров. Квазары не похожи на обычные звезды и по своим массам. Их массы достигают миллионов солнечных масс. Чтобы вызвать и длительное время поддерживать сверхмощное излучение квазаров, требуется энергия, которую не может обеспечить ни один из известных нам источников, включая термоядерный синтез. Объектами, наиболее родственными квазарам, следует считать, по-видимому, ядра радиогалактик.

4. МЕТАГАЛАКТИКА И ЕЕ РАСШИРЕНИЕ. Совокупность всех наблюдаемых галактик, т. е. вся охваченная астрономическими наблюдениями область Вселенной, называется *Метагалактикой*. В настоящее время астрономы не знают систем большего масштаба, чем Метагалактика. Но нет оснований отождествлять Метагалактику со «всей Вселенной», а тем более с «материальным миром», со «всей материей». В беспредельной Вселенной могут существовать другие, пока нам не известные, метагалактики.

54•. *Сравните прошлые представления о строении Вселенной (геоцентрическая система мира, гелиоцентрическая система мира) с современными.*

В 20-х годах выяснилось, что линии в спектрах подавляющего большинства галактик смещены к красному концу. Причем смещение тем больше, чем дальше от нас находится галактика. Это связали с эффектом Доплера и объяснили тем, что галактики удаляются от нас со скоростями, возрастающими с расстоянием.

Американский астроном Э. Хаббл установил, что скорости удаления галактик (v) пропорциональны расстояниям (r). Этот закон, получивший название закона Хаббла, можно записать так:

$$v = H \cdot r, \tag{13}$$

где H — постоянная Хаббла ($H \approx 50$ км/с · Мпк). Постоянная Хаббла характеризует темп расширения Метагалактики: галактики, разделенные расстоянием в 1 Мпк ($3 \cdot 10^{19}$ км/с), удаляются друг от друга со скоростью 50 км/с, в 10 Мпк — 500 км/с и т. д.

Наша Галактика ничем особенно не выделяется в мире галактик и не занимает какое-либо «центральное» положение в Метагалактике. Наблюдатель, находящийся в любой галактике мог бы, как и мы, обнаружить явление красного смещения (ему тоже казалось бы, что от него удаляются все галактики). Таким образом, мы живем в *расширяющейся Метагалактике.*

Самыми далекими от нас объектами Метагалактики оказались квазары. Свет от ближайшего квазара идет к нам около 3 млрд. лет, но известны квазары, от которых свет идет к нам более 10 млрд. лет. Возраст Солнечной системы составляет примерно 5 млрд. лет, возраст Галактики — 10 млрд. лет. Значит, свет и радиоизлучение от многих квазаров начали путешествовать по Вселенной раньше, чем образовались наша Земля, наше Солнце, наша Солнечная система, наша Галактика!

Если допустить, что в прошлом расширение Метагалактики происходило таким же темпом, что и сейчас, то можно рассчитать, когда началось расширение. Из таких расчетов следует, что расширение должно было начаться примерно 20 млрд. лет назад. Интересно, что в 1922—1924 гг. советский ученый А. А. Фридман (1888—1925), основываясь на общей теории относительности Эйнштейна, доказал, что система галактик не может находиться в состоянии покоя, а должна расширяться или сжиматься. Одна из этих возможностей — расширение — реализуется в Метагалактике.

Расширение Метагалактики, безусловно, самое грандиозное из известных в настоящее время явлений природы. Правильное его истолкование имеет исключительно большое мировоззренческое значение. Не случайно в объяснении причины этого явления резко обнаружилось отличие точек зрения ученых-идеалистов и ученых-материалистов. Идеалисты и современные богословы, отождествляя Метагалактику со всей Вселенной, нередко пытаются найти в расширении Метагалактики подтверждение религиозного вымысла об «акте творения» мира, т. е. о сверхъестественном божественном происхождении Вселенной. В отличие от них материалисты стали искать и нашли в окружающем нас мире естественные, реальные процессы, которые в прошлом могли вызвать наблюдаемое расширение. По всей вероятности, это взрывы. Их масштабы поражают нас уже при изучении отдельных видов галактик. Можно представить, что расширение Метагалактики также началось со взрыва вещества, которое имело огромную плотность и температуру (с. 117).

Упражнение 15. 1. Как вы представляете себе нашу Галактику? 2. Что находится за пределами нашей Галактики? 3. В чем проявляется активность

ядер галактики? 4. Что такое Метагалактика? 5*. Галактика, видимый угловой диаметр которой 10″, удаляется от нас со скоростью 20 000 км/с. Каков ее линейный диаметр? 6. Выполните задание 27 (с. 130).

Что вы должны запомнить, изучив третью тему курса.

1. Звезды, подобно Солнцу, — раскаленные плазменные шары. Свет даже от ближайших звезд идет к нам годы.
2. По своим физическим характеристикам (светимости, размеры, средние плотности, температура фотосферы) звезды могут сильно отличаться от Солнца. Массы звезд лежат в более узких пределах.
3. Многие звезды входят в состав двойных систем.
4. Причина изменения блеска нестационарных звезд — физические процессы, происходящие в этих звездах (например, цефеиды — пульсирующие звезды; сверхновые — это взрывающиеся звезды и т. д.).
5. Наше Солнце — рядовая звезда Галактики. Таких звезд, как Солнце, в Галактике не менее 150 млрд.
6. Мир галактик многообразен. Галактики, как и звезды, отличаются друг от друга по внешнему виду и различным физическим характеристикам.
7. Ядра некоторых галактик обладают исключительной активностью (мощное радиоизлучение, выброс огромных масс вещества), возможно, связанной с происходящими в них взрывными процессами.
8. В охваченной астрономическими наблюдениями части Вселенной, т. е. в Метагалактике, миллиарды галактик.
9. Метагалактика нестационарна. Она непрерывно расширяется.

§ 17. АСТРОНОМИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА (ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР)

В курсе физики вы познакомились с физической картиной мира. Заканчивая изучение курса астрономии, вы должны иметь представление об астрономической картине мира, в основе которой лежат не только данные *астрономических наблюдений, теории* и *гипотезы,* но и важнейшие *понятия* и *законы современной физики.*

Революционными вехами на пути развития астрономии были: обоснование идеи о шарообразности Земли, открытие Коперником гелиоцентрической системы мира, изобретение телескопа, открытие основных законов небесной механики, применение в астрономии спектрального анализа и фотографии, открытие нашей Галактики, открытие Метагалактики, применение теории относительности к изучению Метагалак-

тики, начало радиоастрономических исследований и, наконец, начало космической эры и эпохи непосредственных экспериментов в космическом пространстве. Благодаря этим открытиям постепенно вырисовывалась величественная картина мироздания, по сравнению с которой наивными сказками кажутся теперь старинные легенды о плоской Земле, неподвижно покоящейся в центре мира, и о небесной тверди с воткнутыми в нее золотыми звездами-булавками. В наши дни астрономия находится на «переднем крае» современного естествознания и развивается необычно быстрыми темпами. Большой вклад в формирование современных представлений о Вселенной внесли и вносят советские астрономы.

Сейчас мы довольно хорошо представляем себе *строение Солнечной системы*. Вокруг Солнца в одном направлении и примерно в одной плоскости обращаются девять больших планет — Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон. Меркурий почти в 2,5 раза ближе к Солнцу, чем Земля, а Плутон отстоит от Солнца на расстоянии в 40 раз большем, чем расстояние от Земли до Солнца. До сих пор не найдено других планет, например, находящихся вблизи Солнца или за орбитой Плутона.

Вокруг Земли движутся Луна и искусственные небесные тела, запущенные в СССР и других странах. Созданы искусственные спутники Луны, Марса и Венеры. Автоматические межпланетные станции достигли поверхности Венеры и Марса. С близких расстояний сфотографированы Меркурий и Юпитер. Люди уже побывали на Луне. С поверхности Луны на Землю неоднократно доставлялись пробы лунного грунта (I, 131).

По своим характеристикам планеты делятся на две группы. К планетам земной группы относятся Меркурий, Венера, Земля, Марс и, возможно, Плутон. К планетам-гигантам относятся Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун. Планеты земной группы отличаются своими небольшими размерами, массами, малым числом спутников, медленным вращением вокруг осей, сравнительно большой средней плотностью. Планеты-гиганты велики по размерам и массам, они быстро вращаются вокруг своих осей, имеют по несколько спутников (больше всего спутников открыто у Юпитера), обладают малыми средними плотностями. В пределах одной и той же группы обнаруживаются как черты сходства, так и существенные индивидуальные отличия одной планеты от другой (сравните, например, поверхности и атмосферы Земли, Венеры и Марса).

Имеющиеся в настоящее время данные о физической природе планет приводят к выводу о том, что Земля —

единственная планета Солнечной системы, на которой существуют высокоорганизованные формы жизни. Никаких признаков жизни на других планетах пока не обнаружено.
Кроме больших планет в состав Солнечной системы входит множество астероидов, орбиты которых в основном расположены между орбитами Марса и Юпитера. Границы Солнечной системы простираются далеко за пределы орбиты Плутона (это следует, например, из факта существования долгопериодических комет).
Центральное небесное тело Солнечной системы — Солнце. Это огромный раскаленный плазменный шар, вращающийся вокруг своей оси. В недрах Солнца, где господствует температура около $15 \cdot 10^6$ К, миллиарды лет происходят термоядерные реакции (водород превращается в гелий). Солнечный термоядерный реактор — самоуправляемый. Благодаря этому поддерживается постоянная светимость Солнца. Наше дневное светило находится в механическом равновесии (силы тяготения, стремящиеся сжать газовый шар, уравновешиваются противодействующими им силами внутреннего газового давления). Солнце находится и в тепловом равновесии (энергия, вырабатываемая внутри Солнца, равна энергии, излучаемой в окружающее Солнце пространство). В результате работы термоядерного реактора выделяется энергия преимущественно в виде гамма-квантов. Но в космическое пространство Солнце излучает в основном кванты видимого света. Превращение гамма-излучения в видимый свет, рентгеновское и ультрафиолетовое излучение Солнца происходит в процессе длительного, длящегося миллионы лет, «просачивания» излучения от центра Солнца к его фотосфере. Многообразие явлений в фотосфере, хромосфере и короне Солнца связано с магнитными полями в его активных областях. В магнитных полях запасена очень большая энергия. Именно из этих запасов черпают энергию хромосферные вспышки — грандиозные взрывы, которые не только «возмущают» солнечную корону, но и вызывают различные явления в околоземном космическом пространстве и в атмосфере Земли. Исследование Солнца позволяет нам понять природу звезд; изучение солнечной активности имеет важное народнохозяйственное значение.
Солнце и звезды — небесные тела одной и той же природы. Звезды кажутся точечными объектами лишь потому, что они отдалены на огромные расстояния. Мир звезд поражает своим разнообразием. Мы встречаем в нем гигантов и сверхгигантов. Наряду с ними много белых карликов, размеры которых сравнимы с размерами Земли. Еще меньше

размеры сверхплотных нейтронных звезд. Солнце — стационарная звезда, но во Вселенной немало таких звезд, у которых, вследствие происходящих на них физических процессов, изменяются размеры и светимости.

Большинство звезд входят в состав звездных систем. Простейшие из них — это системы двойных и кратных звезд. Одиночные звезды со своими спутниками, двойные и более сложные системы звезд (звездные скопления), а также разреженная межзвездная материя — все это элементы состава галактик. *Одна из галактик — наша Галактика. Солнце — одна из звезд нашей Галактики.* От ближайшей галактики (Туманность Андромеды) свет идет до нас около двух миллионов лет. Группа галактик, включающая нашу Галактику, Туманность Андромеды и несколько других ближайших галактик, образует *Местную систему галактик*. Известны значительно большие по масштабам системы галактик, например скопления галактик. Сведения о внегалактических объектах непрерывно пополняются благодаря вступающим в строй новым мощным оптическим и радиотелескопам.

55*. *Какими будут расстояние от Земли до Солнца, размеры Солнечной системы (VI, 134), размеры Галактики, а также расстояние до известных вам внегалактических объектов, если представить себе Солнце в виде шарика диаметром 1 см?*

56*. *Астрономическими наблюдениями охвачена область пространства радиусом около 15 млрд. световых лет. Во сколько раз дальше расстояния от Земли до Солнца удалось проникнуть во Вселенную?*

Еще недавно Вселенная казалась статичной. На самом деле небесные тела находятся в непрерывном движении и изменении. С движением — неотъемлемым свойством материи — мы всюду встречаемся во Вселенной. Это прежде всего механическое движение. Во многих движениях одновременно участвует наша планета, которую люди веками считали неподвижной. Вы знаете, что Земля вращается вокруг оси, обращается вокруг Солнца, вместе с Солнцем участвует в движении вокруг центра Галактики, движется вместе с Галактикой. Удивительную картину движения материи во Вселенной раскрывает внегалактическая астрономия, исследующая галактики и квазары. В XX в. человек узнал, что он живет в расширяющейся Метагалактике.

Небесные тела не только перемещаются в пространстве, но и непрерывно *изменяются* и *эволюционируют*. Астрономические наблюдения позволяют обнаружить изменения, происходящие на Солнце, планетах и кометах. Во многих случаях (вспышки сверхновых звезд, взрывы в ядрах галактик) мы встречаемся с мощными взрывными процессами, которые

сопровождаются колоссальным выделением энергии, различными превращениями вещества, а также взаимопревращениями вещества и поля. Любая планета, звезда, галактика когда-то возникла и прошла свой путь развития. Имела свое начало и Метагалактика. Вечны лишь Вселенная и материя, из которой она состоит.

Астрономия, древнейшая из наук, переживает эпоху бурного развития. Новейшие открытия в изучении Солнечной системы, Галактики и Метагалактики стали возможными благодаря тому, что в распоряжении современных астрономов есть мощные телескопы, предназначенные для исследования Вселенной в оптическом и радиодиапазонах, а также приборы на искусственных спутниках Земли, орбитальных научных станциях, автоматических межпланетных станций. Космическая техника, превратив астрономию из оптической во всеволновую, открыла принципиально новые возможности для получения информации о явлениях и процессах, происходящих во Вселенной. В настоящее время необозримо расширились границы доступной наблюдениям области Вселенной, получены принципиально важные данные о природе Луны, планет и Солнца, открыты нестационарные процессы в мире звезд и галактик, открыты такие объекты, как пульсары и квазары, достигнуты большие успехи в разработке теории эволюции звезд. Все это превратило астрономию в одну из авангардных областей естествознания XX века.

Изучая астрономию, мы много раз убеждались, что окружающий нас *мир познаваем* (приведите несколько примеров). Вопреки предсказаниям философов-идеалистов, сейчас не только известно, из чего состоят звезды, но и удалось найти путь к решению проблемы источников звездной энергии и многих других очень сложных и интересных проблем, в том числе таких, как проблемы происхождения и развития небесных тел (с. 120). Астрономы не только стремятся узнать, что представляет собой наблюдаемая нами Вселенная, но и хотят проникнуть в ее далекое прошлое, пытаясь с материалистических позиций выяснить, что было, когда еще не существовало Земли, Солнца, Галактики, других галактик. Несомненно, что и эта сложнейшая проблема, неразрывно связанная с познанием законов мегамира и микромира, будет успешно решена.

Мы живем на небольшой планете, движущейся вокруг одной из бесчисленного множества звезд Вселенной. Только в доступной наблюдению части Вселенной находится около 10^{10} галактик или порядка 10^{20} звезд. И поэтому трудно примириться с мыслью о том, что мы одиноки во Вселенной.

Еще недавно лишь писатели-фантасты обсуждали в своих произведениях увлекательные вопросы, связанные с существованием жизни во Вселенной, поиском внеземных цивилизаций, установлением контактов с ними. В наши дни проблемой внеземных цивилизаций уже занимаются ученые. И это не случайно, так как мы — современники и активные участники небывалой научно-технической революции, свидетели бурного прогресса астрономической науки. Только людям нашей эпохи довелось проникнуть в космос, начать освоение космического пространства и стать первооткрывателями космической эры.

Предполагают, что во Вселенной могут существовать такие цивилизации, которые далеко обогнали нас в своем развитии и, в частности, владеют источниками энергии, дающими им возможность перестраивать свою планету и даже свою солнечную систему, совершать пока не доступные нам межзвездные перелеты. В этом предположении нет ничего антинаучного. Однако до сих пор во Вселенной не обнаружено признаков деятельности ни одной подобной цивилизации. Не существует также никаких доказательств того, что пришельцы других миров когда-то в прошлом уже посещали Землю или посещают ее сейчас. До сих пор не были обнаружены и радиосигналы каких-либо внеземных цивилизаций, хотя поиски таких сигналов уже много лет проводят и продолжают проводить советские и американские ученые. Означает ли это, что мы одиноки во Вселенной и что только на Земле эволюция материи увенчалась появлением разумных существ? Делать такой вывод, конечно, преждевременно. Земная цивилизация еще очень молода (ведь несколько десятков лет тому назад не было радио, авиации, ракетной техники, крупных телескопов). Мы еще не представляем себе, какими могут оказаться другие цивилизации, каков уровень достигнутых ими знаний, какова система используемых ими понятий. Поэтому поиски внеземных цивилизаций продолжаются: ученые пытаются выделить среди радиоволн, излучаемых небесными телами и межзвездной материей, радиоволны, посланные во Вселенную ее разумными обитателями. С этой же целью земляне сами направляют «космические радиограммы» и даже «письма» (с. 124), надеясь, что когда-нибудь наши братья по разуму их получат и ответят нам.

57•. *Опираясь на знания по астрономии и биологии, попытайтесь сформулировать доводы в пользу (и против!) существования жизни во Вселенной и внеземных цивилизаций.*

ВТОРОЙ РАЗДЕЛ

Дополнительный материал

1. 1. ОПТИЧЕСКИЕ ТЕЛЕСКОПЫ. *Телескоп* — важнейший астрономический инструмент. Он увеличивает угол зрения, под которым видны небесные тела, и собирает во много раз больше света, чем глаз наблюдателя. Поэтому в телескоп можно рассмотреть невидимые невооруженным глазом детали поверхности ближайших к Земле небесных тел и увидеть множество слабых звезд. Невооруженным глазом удается различить две звезды, если угол между ними не менее $1-2'$. В крупные телескопы можно наблюдать раздельно две звезды, отстоящие друг от друга на доли угловой секунды (под углом $1''$ «видна» спичечная коробка примерно с расстояния 10 км).

В *телескопах-рефракторах* лучи света от небесных тел собирает линза (или система линз); в *телескопах-рефлекторах* — вогнутое зеркало; в *зеркально-линзовых* телескопах — комбинация зеркала и линзы (рис. 39).

1. 2. КРУПНЕЙШИЙ В МИРЕ СОВЕТСКИЙ ТЕЛЕСКОП-РЕФЛЕКТОР. Для астрофизических исследований (фотографирование небесных тел, получение их спектров и т. д.) чаще всего используются телескопы-рефлекторы. Диаметр зеркала телескопа Специальной астрофизической обсерватории Академии наук СССР равен 605 см, фокусное расстояние — 24 м. Наблюдения можно непосредственно производить в главном фокусе. Для этой цели в верхней части трубы (см. фотографию на обложке книги) установлена кабина (ее диаметр 180 см, а высота 226 см). С помощью дополнительных оптических средств фокус может быть перенесен в места, где установлены спектральные и другие вспомогательные приборы, предназначенные для всестороннего анализа оптического излучения небесных тел.

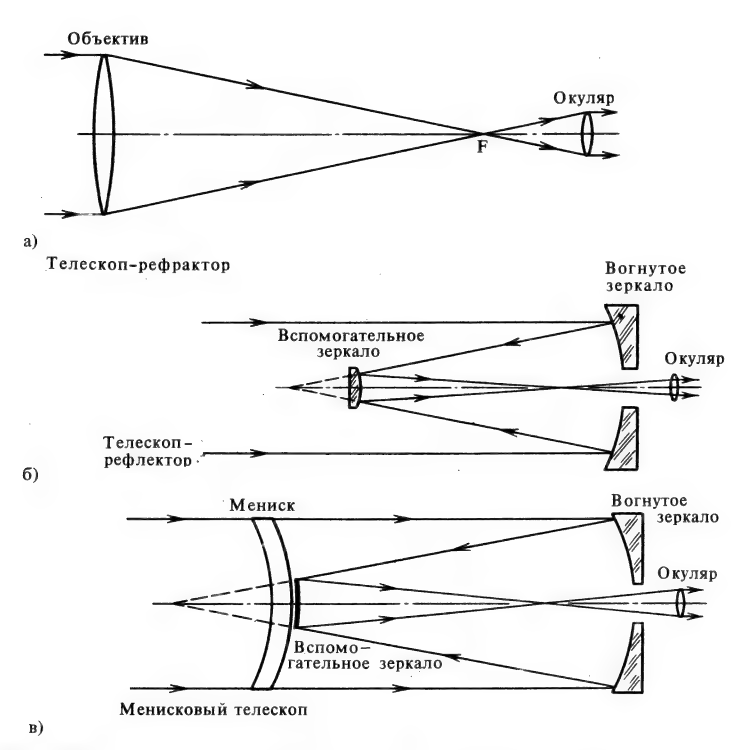


Рис. 39. *Проследите ход лучей в различных системах телескопов*

Огромное зеркало (его масса более 40 т, а толщина 65 см) отшлифовано с точностью до долей микрона! Масса вращающегося купола около 1000 т. Башня, в которой установлен телескоп-гигант, имеет 44 м в диаметре. Труба телескопа (масса 300 т) способна плавно поворачиваться, и ее можно точно навести на светило. Место для телескопа искали 15 экспедиций. Выбрали район горы Пастухова (Карачаево-Черкессия) вблизи станции Зеленчукская, обсерватория расположена на высоте 2070 м над уровнем моря; здесь прозрачный воздух и бывает много ясных ночей.

1. 3. РАДИОТЕЛЕСКОП РАТАН-600. Специальная астрофизическая обсерватория АН СССР имеет уникальный радиоастрономический центр, главный инструмент которого — гигантский радиотелескоп РАТАН-600 (**РА**дио**Т**елескоп **А**кадемии **Н**аук с диаметром кольца 600 м) предназначен для наблюдений в интересующем астрофизиков диапазоне волн от 8 мм до 21 см.

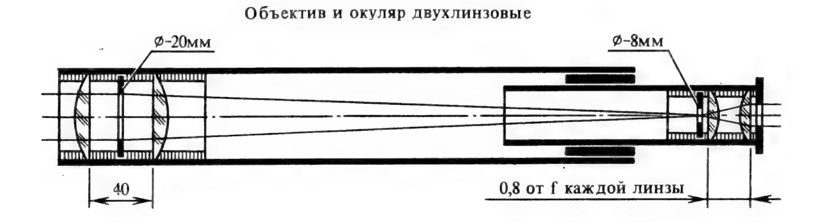
Главное «зеркало» телескопа состоит из 895 почти плоских панелей (размером 2× 7,4 м), установленных на круговом бетонном фундаменте (см. рис. на обложке книги). Все панели (а они способны поворачиваться и передвигаться) образуют огромную радиоантенну (круговой отражатель). В фокусе антенны находится облучатель с радиоприемной аппаратурой. Радиотелескоп имеет и плоский отражатель, состоящий из 124 секций. Сочетание кругового и плоского отражателей позволяет телескопу работать в разных режимах. Основной метод наблюдения — регистрация мощности сигнала, поступающего от наблюдаемого источника радиоизлучения. РАТАН-600 автоматизирован: ЭВМ устанавливает его аппаратуру и управляет работой инструмента. Создание 6-метрового телескопа-рефлектора и радиотелескопа РАТАН-600 отмечалось на XXV съезде КПСС в ряду крупнейших достижений отечественной науки и техники.

1. 4. ПРОСТЕЙШИЙ САМОДЕЛЬНЫЙ ТЕЛЕСКОП.Каждый может сделать простейший телескоп-рефрактор, дающий увеличение около 25 раз (рис. 40). Объектив такого телескопа — очковое стекло (например, + 1 дптр, фокусное расстояние 1 м), окуляр — собирающая линза (с фокусным расстоянием около 4 см).

Вместо двояковыпуклого стекла для объектива можно использовать пару вогнутовыпуклых линз (менисков). Если каждая из линз будет иметь оптическую силу + 0,5 дптр, то фокусное расстояние

Рис. 40. Самодельный рефрактор





сложного объектива получится 1 м. Объектив прикрепите к трубе (металлической, пластмассовой или склеенной из нескольких слоев плотной бумаги). Длина трубы — около 95 см. Окуляр крепится к патрубку длиной около 15—20 см, он должен вдвигаться в «объективную трубу» при фокусировке телескопа. Сделайте опору или установку для своего телескопа.

Многие любители астрономии строят телескопы-рефлекторы. Они самостоятельно шлифуют зеркала, используя для этого заготовки стеклянных дисков диаметром 10—20 см. С такими телескопами можно получить качественные изображения при увеличении в 100—150 раз [10].

2.1. МИФЫ И ЛЕГЕНДЫ О СОЗВЕЗДИЯХ. Небо было для наших предков не миром безмолвных звезд, а миром сказочных персонажей, перенесенных на небо фантазией. Названия наиболее известных созвездий северного неба связаны с мифологией древних греков (с некоторыми из них вы знакомились, изучая историю древнего мира). Познакомиться с мифами не просто занимательно, но и полезно: зная об «отношениях», связывающих различных героев мифов, легче запомнить взаимное расположение тех или иных созвездий.

Мореплаватели, посещавшие арктические страны («страны медведей»; арктос — греч. «медведица»), обращали внимание на созвездия, которые стали называть *Большая Медведица* и *Малая Медведица.* С этими созвездиями связан миф о красавице Каллисто. К прекрасной нимфе был неравнодушен сам всемогущий Зевс. Ревнивая Гера, супруга Зевса, превратила Каллисто в медведицу. Несчастная медведица чуть было не погибла от руки собственного сына (и сына Зевса) — Аркаса (Аркада), который встретил ее, возвращаясь с охоты. Но убийства не произошло: Зевс спас Каллисто, взяв ее на небо, превратив в созвездие и даровав бессмертие. На небо был отправлен и Аркас с его собакой. Аркас стал вечным хранителем своей матери, будучи превращен в созвездие Волопаса («Медвежий страж»), а его собака — в созвездие Малой Медведицы.

Созвездие *Кассиопеи* связано с именем эфиопской царицы.

Царь Цефей тоже не забыт: созвездие *Цефея* находится между Малой Медведицей и Кассиопеей. Как-то Кассиопея необдуманно похвалилась своей красотой перед морскими нимфами. Разгневанные нимфы умолили бога морей Посейдона наказать Цефея и Кассиопею: по их просьбе Посейдон послал страшного Кита на страну. Чудовище, наверное, совсем бы разорило страну, но оракул подсказал владыкам выход из положения. Эфиопию могла спасти только царевна Андромеда, принесенная своими родителями в жертву Киту. Красавицу приковали к скале у моря, и она ждала своей ужасной участи. Но все кончилось хорошо: Андромеду спас легендарный Персей.

Названия ряда других созвездий тоже имеют отношение к героям различных мифов. Например, Орион — это небесный охотник, неосторожно пытавшийся сравниться с самой Артемидой — богиней, покровительствовавшей охоте. Артемида умертвила Ориона, и легендарный охотник был превращен в одно из красивейших созвездий нашего неба. Рядом с *Орионом* находятся его Псы *(Большой Пес* и *Малый Пес*). По-латыни Большой Пес — Канис Майор. С названием этого созвездия связано любимое вами слово «каникулы». А связь такая: предутреннее появление α Большого Пса — Сириуса (древние египтяне и впоследствии римляне называли эту звезду «Песьей звездой» или «Каникулой») — совпадало с началом периода очень жаркой погоды. Такой «мертвый сезон», нередко сопровождавшийся эпидемиями тропических болезней, в Древнем Риме объявлялся отпускным периодом и считался довольно опасным временем. Но прошли века — и тревожные «собачьи дни» превратились в веселые «каникулы»!

По соседству с Орионом находятся еще такие созвездия, как *Телец, Возничий, Близнецы*. С чем связаны их названия? Согласно одному из мифов, Телец — это бык, с которым сражается хорошо вооруженный Орион. Что же касается Возничего, то согласно некоторым легендам он назван так в честь мифического возницы, а звезда Капелла — в честь козы, чьим молоком был вскормлен Зевс. Близнецы с их яркими звездами (Кастор и Поллукс) олицетворяют братскую любовь мужественных и славных сыновей Зевса [1], [14], [15], [16].

2. 2. КРАТКИЙ ПУТЕВОДИТЕЛЬ ПО ЗВЕЗДНОМУ НЕБУ. Две крайние звезды ковша Большой Медведицы помогут найти Полярную звезду — α Малой Медведицы (см. ПКЗН). Если мысленно продолжить прямую, проходящую через ε Большой Медведицы и Полярную, то мы увидим созвездие, яркие звезды которого расположены в виде перевернутой буквы М. Это Кассиопея.

Зимнее вечернее небо украшает группа созвездий, из которых наиболее отчетливо выделяется очень красивое созвездие Орион. Над «поясом» Ориона, составленным звездами δ, ε, ζ, блестит *Бетельгейзе* (α Ориона), а под «поясом» — Ригель (β Ориона). Представим себе спиральную линию, начинающуюся от звезды δ Ориона и проходящую через звезды γ, α, χ, β. Мысленно продолжая эту линию (рис. 41), мы будем последовательно встречать следующие яркие звезды: *Альдебаран* (α Тельца), *Капеллу* (α Возничего), *Поллукс* (β Близнецов), *Процион* (α Малого Пса) и, наконец, очень яркую звезду — *Сириус* (α Большого Пса). Бетельгейзе, Сириус и Процион составляют «зимний треугольник».

Весной к уже знакомым созвездиям можно добавить созвездия *Волопаса, Девы, Льва* (рис. 41). Арктур (α Волопаса) и Спику (α Девы) вы найдете на продолжении ручки ковша Большой Медведицы. Созвездие Льва легко найти на небе, запомнив, что его

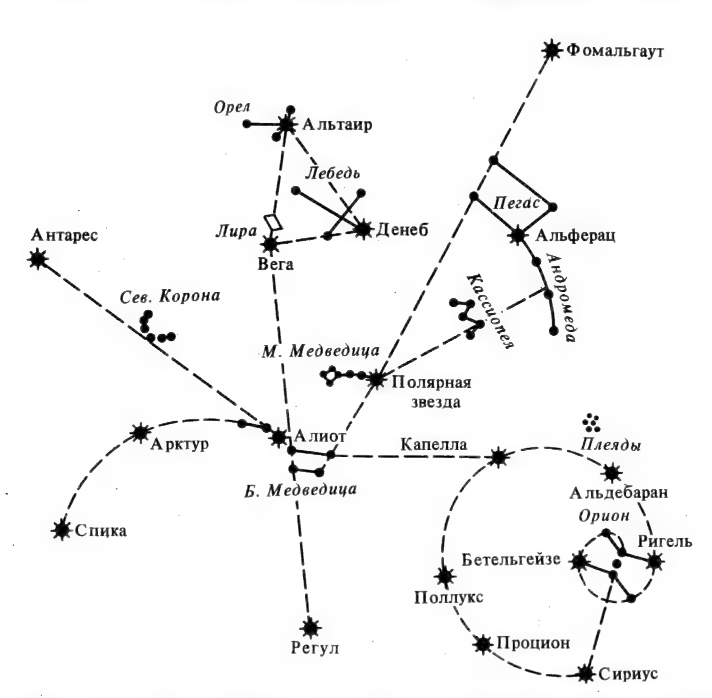


Рис. 41. Эта схема поможет вам отыскать основные созвездия и яркие звезды в них

яркие звезды образуют большую трапецию. Правая нижняя звезда трапеции — *Регул* (α Льва) [14], [15], [16], [17].

Одними из первых на летнем и осеннем вечернем небе появляются яркие звезды *Вега* (α Лиры), *Денеб* (α Лебедя), *Альтаир* (α Орла), образующие летне-осенний треугольник. Вега — самая яркая звезда северного неба — видна на продолжении прямой, проходящей через γ и δ Большой Медведицы. Около Веги четыре более слабые звезды созвездия Лиры расположены в виде маленького параллелограмма. Наиболее яркие звезды созвездия Лебедя образуют характерную группу в виде креста, в одной из вершин которого находится Денеб. Вблизи Альтаира, симметрично от него расположены звезды γ и β Орла, которые вместе с Альтаиром и звездой δ Орла составляют фигуру этого созвездия.

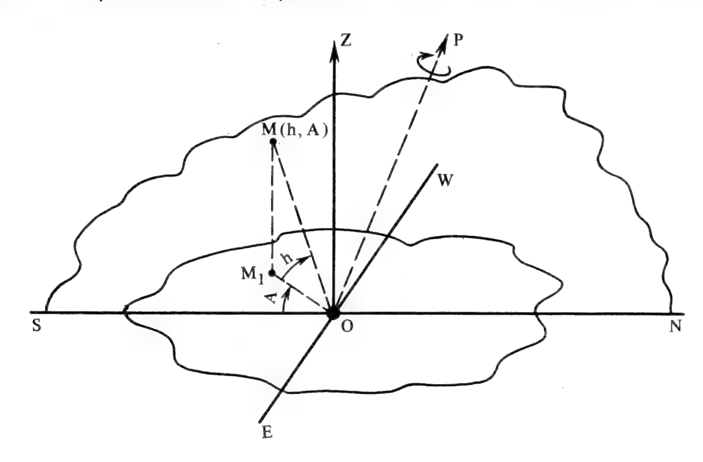
Осень — удобное время для наблюдения *Пегаса* и *Андромеды*. Отыскать на небе Пегас и Андромеду нам поможет созвездие Кассиопеи. Квадрат Пегаса составлен звездами α, β, γ этого созвездия и звездой α Андромеды.

3.1. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ КООРДИНАТЫ. При суточном вращении небосвода экваториальные координаты звезд не меняются. Для определения положения светил относительно горизонта применяют другую систему координат: h — высота, A — азимут. Это горизонтальные координаты.

Рассмотрим рис. 42. На нем изображена часть горизонтальной плоскости, проходящей через точку O, в которой находится глаз наблюдателя. Вертикальная (или отвесная) линия указывает направление на точку зенита (Z). Тень от освещенного Солнцем вертикального шеста располагается в полдень в направлении юг — север (SN), или, иначе, вдоль *полуденной* линии. Вертикальная плоскость, проходящая через отвесную и полуденную линии, называется *плоскостью меридиана*. Перпендикулярно полуденной линии в горизонтальной плоскости проходит линия восток — запад (EW).

Пусть в точке M находится светило, луч света от которого идет к наблюдателю вдоль MO. Вертикальная плоскость, проходящая через MO и ZO, пересечет плоскость горизонта. Угол между горизонтальной плоскостью и направлением на светило $\angle MOM_1 = h$ называется *высотой светила*. (M_1 — проекция точки M на плоскость горизонта.) Высота светила, находящегося на горизонте, равна 0°, а в зените — 90°. Дополнение высоты до 90° называется *зенитным* расстоянием светила. Угол $SOM_1 = A$, определяющий положение вертикальной плоскости, в которой в данный момент находится светило, называется *азимутом* светила. Азимут светила, находящегося над точкой юга, равен 0°, над точкой запада — 90°, над точкой севера — 180°, над точкой востока — 270°. Горизонтальные координаты могут быть измерены любым

Рис. 42. Горизонтальные координаты



инструментом, предназначенным для измерения углов в вертикальной и горизонтальной плоскостях, например, теодолитом.

3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ШИРОТЫ И ДОЛГОТЫ ИЗ АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ. Полярная звезда отстоит от полюса мира менее чем на 1°. В Москве Полярная звезда видна на высоте около 56°, в Мурманске — 68°, в Баку — 40°.

Докажем, что всюду высота полюса мира (h_p) равна географической широте места наблюдения (φ). Для этого рассмотрим рис. 43. В точке O на поверхности Земли находится наблюдатель. Угол $aO_1O=\varphi$ — географическая широта. Продолжив радиус Земли OO_1, получим направление отвесной линии OZ. В выбранной нами проекции SN изображает плоскость горизонта. Наблюдатель видит северный полюс мира в направлении OP. Вокруг OP (оси мира) происходит кажущееся вращение небосвода. Ось мира, очевидно, параллельна оси Земли. Угол $PON=h_p$ — высота полюса мира. Легко видеть, что $\angle PON=\angle aO_1O$ (как углы с соответственно перпендикулярными сторонами). Поэтому

$$h_p=\varphi, \tag{14}$$

т. е. высота полюса мира равна географической широте места наблюдения. Значит, приближенно географическую широту места наблюдения можно определить, измерив высоту Полярной звезды. Из астрономических наблюдений определяется и вторая географическая координата — долгота места наблюдения. Чтобы вычислить долготу (λ_1), нужно знать точное время в пункте наблюдения (T_1) и время (T_2) в пункте с долготой (λ_2):

$$\lambda_1-\lambda_2=T_1-T_2 \tag{15}$$

3.3. ПОНЯТИЕ О КАЛЕНДАРЕ. *Тропический год* (365 сут 5 ч 48 мин 46,1 с) положен в основу солнечного календаря, т. е. счета длительных промежутков времени. Но составление

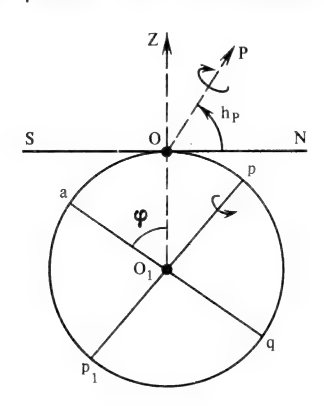


Рис. 43. К теореме о высоте полюса мира

календаря затруднено тем, что продолжительность тропического года несоизмерима с продолжительностью суток. Чтобы начало весны приходилось примерно на один и тот же день года, календарный год должен содержать целое число суток, возможно более близкое к продолжительности тропического года.

В Юлианском календаре («старый стиль», введенный, как вам известно из курса истории, в 46 г. до н. э. Юлием Цезарем) средняя продолжительность года составляла 365,25 сут: три года содержали по 365 сут, а четвертый («високосный») — 366. Високосными считались все годы, номера которых без остатка делились на 4. В Григорианском календаре («новый стиль», введенный в 1582 г. римским папой Григорием XIII) годы 1700, 1800, 1900, 2100 и т. д., т. е. число сотен которых не делится на 4, стали считать не високосными, а простыми. Благодаря этому средняя продолжительность календарного года за 400 лет составляет 365,2425 сут и календарный год стал меньше отличаться от тропического. В России новый стиль был введен только в 1918 г. Декретом Советского правительства 1 февраля было объявлено 14 февраля.

4. 1. ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ НИКОЛАЯ КОПЕРНИКА К КНИГЕ « О ВРАЩЕНИЯХ НЕБЕСНЫХ СФЕР». «Наедине сам с собой я долго размышлял, до какой степени нелепым мое повествование кажется тем, которые на основании суждения многих веков считают твердо установленным, что Земля неподвижно расположена в середине неба, являясь как бы его центром, лишь только узнают, что я, вопреки этому мнению, утверждаю о движении Земли. Поэтому я долго в душе колебался, следует ли выпускать в свет мои сочинения, написанные для доказательства движения Земли... Боязнь презрения за новизну и бессмысленность моих мнений чуть было не побудила меня отказаться от продолжения задуманного произведения. Но меня, долго медлившего и даже проявлявшего нежелание, увлекли мои друзья... Они говорили, что чем бессмысленнее в настоящее время покажется многим мое учение о движении Земли, тем больше оно покажется удивительным и заслужит благодарности после издания моих сочинений, когда мрак будет рассеян яснейшими доказательствами. Побужденный этими советчиками и упомянутой надеждой, я позволил, наконец, моим друзьям издать труд, о котором они долго просили меня... Если и найдутся какие-нибудь пустословы, которые, будучи невеждами во всех математических науках, все-таки берутся о них судить и на основании какого-нибудь места священного писания... осмелятся порицать и преследовать мое произведение, то я, ничуть не задерживаясь, могу пренебречь их суждением, как легкомысленным».

(1543 г.)

4. 2. ИЗ ПРОИЗВЕДЕНИЙ М. В. ЛОМОНОСОВА. «Никита Сиракузянец признал дневное Земли около своей оси обращение, Фило-

лай — годовое около Солнца..., Аристарх Самийский показал солнечную систему яснее. Однако эллинские жрецы и суеверы тому противились и правду на много веков погасили... Идолопоклонническое суеверие держало астрономическую Землю в своих челюстях, не давая ей двигаться... Между тем астрономы принуждены были выдумывать для изъяснения небесных явлений глупые и с механикой и геометриею прекословящие пути планетам... Жаль, что тогда не было таких остроумных поваров, как следующий:

Случились вместе два астронома в пиру,
И спорили весьма между собой в жару.
Один твердил: Земля, вертясь круг Солнца ходит;
Другой — что Солнце все с собой планеты водит;
Один Коперник был, другой слыл Птолемей.
Тут повар спор решил усмешкою своей.
Хозяин спрашивал: — Ты звезд теченье знаешь?
Скажи, как ты о сем сомненье рассуждаешь?
Он дал такой ответ: — Что в том Коперник прав,
Я правду докажу, на Солнце не бывав.
Кто видел простака из поваров такого,
Который бы вертел очаг кругом жаркого?

(1761)

«Красота, важность, обширность, величие астрономии не только возвышают дух мудрых, возбуждая их пытливость и усердие, не только прельщают умы граждан просвещенных и находящих отраду в науках, но и необразованную толпу приводят в изумление».

Открылась бездна звезд полна;
Звездам числа нет, бездне дна.
....
Там разных множество Светов,
Несчетны солнца там горят,
Народы там и круг веков...

(1743 г.)

5. 1. ОРБИТЫ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ. В первом приближении орбита ИСЗ — эллипс, в одном из фокусов которого расположен центр массы Земли (Земля принимается за однородный шар радиусом R_3, аэродинамическим сопротивлением атмосферы и притяжением других небесных тел пренебрегаем). Обычно в сообщениях о запусках указывают высоту перигея $h_п$ и высоту апогея $h_а$. По этим данным легко найти большую полуось (a) и эксцентриситет орбиты (e):

$$a = \frac{2R_3 + h_п + h_а}{2} = R_3 + \frac{h_п + h_а}{2}, \qquad (16)$$

$$e = \frac{c}{a} = \frac{a - R_3 - h_п}{a} = 1 - \frac{R_3 + h_п}{a}. \qquad (17)$$

Кроме того, сообщается еще о наклонении орбиты (это двугранный угол i между плоскостью экватора Земли и плоскостью орбиты ИСЗ) и периоде обращения (T). III закон Кеплера позволяет связать периоды обращения спутников с большими полуосями их орбит

$$\frac{T_1^2}{T_2^2}=\frac{a_1^3}{a_2^3},$$

Здесь индексы 1 и 2 относятся к двум ИСЗ.

Величина $$\frac{a_1^3}{T_1^2}=\frac{a_2^3}{T_2^2}=\text{const}=10096{,}7\ \text{км}^3/\text{с}^2.$$

Поэтому период обращения ИСЗ можно вычислить по формуле:

$$T=\sqrt{\frac{a^3}{10096{,}7}}=\frac{a\sqrt{a}}{100{,}482}\ \text{с}=\frac{a\sqrt{a}}{6028{,}92}\ \text{мин.} \quad (18)$$

В частном случае орбита ИСЗ может быть круговой. Скорость движения спутника по такой орбите (*первая космическая скорость*), как вы знаете из курса физики, равна

$$v_1=\sqrt{\frac{\gamma M_З}{r}}, \quad (19)$$

где γ — гравитационная постоянная, $M_З$ — масса Земли, r — расстояние ИСЗ от центра Земли. На определенном расстоянии от поверхности Земли (35 800 км) период обращения спутника на круговой орбите совпадает с периодом вращения Земли относительно звезд, т. е. со звездными сутками. Если плоскость орбиты такого ИСЗ совпадает с плоскостью экватора Земли ($i=0$), то спутник будет неподвижен в системе отсчета, связанной с вращающейся Землей. Такой спутник называется *стационарным*, он как бы неподвижно «висит» над определенной точкой земной поверхности. Таков, например, советский ИСЗ «Экран», позволяющий передавать цветные и черно-белые программы Центрального телевидения в населенные пункты Сибири и Крайнего Севера.

5.2. ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТОВ К ЛУНЕ И ПЛАНЕТАМ. Для таких полетов космическому аппарату необходимо сообщить скорость, не меньшую, чем *вторая космическая*

$$v_2=v_1\sqrt{2}. \quad (20)$$

Великому русскому ученому К. Э. Циолковскому (1857—1935) принадлежит идея о том, что межпланетные перелеты лучше всего осуществлять не с земных космодромов, а, например, с борта тяжелого ИСЗ. Большинство космических кораблей стартует к Луне или планетам с промежуточной орбиты. По команде с Земли автоматическая станция покидает промежуточную орбиту и переходит на траекторию межпланетного перелета. После этого ракетные дви-

гатели выключаются, и движение АМС происходит по законам небесной механики. Из множества возможных траекторий стремятся выбрать такие, полет по которым требует наименьшей затраты ракетного топлива. Если тяжелый спутник двигался вокруг Земли по круговой орбите, плоскость которой совпадала с плоскостью лунной орбиты (лунную орбиту будем считать круговой), то наиболее выгодной будет эллиптическая межпланетная траектория, касательная к обеим орбитам («гомановский эллипс»).

Изобразите на чертеже гомановские траектории перелета с орбиты искусственного спутника Земли ($h = 200$ км) на Луну, Венеру и Марс (II, 133; VI, 134).

Большая полуось гомановской траектории есть

$$a = \frac{r_1 + r_2}{2}, \tag{21}$$

где r_1 и r_2 — радиусы орбит, между которыми осуществляется переход. Время межпланетного перелета равно половине периода обращения искусственного небесного тела по гомановскому эллипсу.

58*. *Сколько времени потребуется луннику, стартующему с промежуточной (круговой) орбиты ($h = 200$ км), чтобы достичь апогея гомановской траектории? Орбиту Луны считать круговой ($r = 384\ 000$ км).*

59*. *Сколько времени потребуется автоматической межпланетной станции, чтобы по гомановской траектории долететь до Марса? Орбиты Земли и Марса считать круговыми.*

60•. *Сравните продолжительность полетов следующих автоматических межпланетных станций: «Луна-9» запущена 31 января 1966 г. и совершила мягкую посадку на Луну 3 февраля 1966 г.; «Марс-5» запущен 25 июля 1973 г. и совершил мягкую посадку на Марс 12 марта 1974 г.; «Венера-10» запущена 14 июня 1975 г. и совершила мягкую посадку на Венеру 25 октября 1975 г.; «Пионер-10» запущен 3 марта 1972 г. и прошел вблизи Юпитера 4 декабря 1973 г.*

Незначительные отклонения в начале межпланетных траекторий приводят к большим ошибкам в конце полета. Отсюда необходимость коррекции траектории; каждый раз очень точно определяют, когда и на какое время нужно включить коррекционные ракетные двигатели [9], [11].

6.1. ИЗ ИСТОРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ДО СОЛНЦА.

В древности люди не представляли себе, на каких расстояних находятся небесные светила — звезды и планеты, Луна и Солнце. Ничего не зная о расстоянии до Солнца, древние принимали видимые размеры за действительные. Гераклит (ок. 544—540 до н. э.) полагал, что «Солнце имеет ширину в ступню человеческую», Анаксагор (ок. 500—428 до н. э.) весьма неуверенно допускал, что Солнце может быть большим, чем оно кажется, и сравнивал его с Пелопонесским полуостровом. Аристарх Самос-

ский (III в. до н. э.), который догадывался, что Земля движется вокруг Солнца, впервые очень грубо оценил расстояние до Солнца по сравнению с расстоянием до Луны. Это было очень важно в мировоззренческом и научном отношении, потому что без правильного решения вопроса о расстоянии до Солнца не могло быть и речи о выяснении истинных размеров Солнца. Во II в. до н. э. из наблюдений земной тени на Луне во время затмений Гиппарх нашел, что расстояние до Солнца составляют 120 земных радиусов. Это считалось верным почти четырнадцать веков. В XVII в. удалось значительно точнее определить расстояние до Солнца (160 млн. км) Расстояние до Солнца определялось разными методами, из которых наиболее точными оказались радиолокационные наблюдения Меркурия и Венеры, выполненные советскими и американскими учеными в начале 60-х годов.

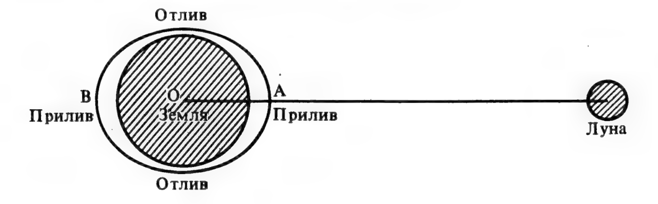
Знать с большой точностью величину астрономической единицы важно не только для определения размеров Солнца. *Астрономическая единица* — основная масштабная единица расстояний в Солнечной системе, она имеет фундаментальное значение для астрономии и космонавтики. Ее величина известна с большой точностью:

$$1 \text{ а.е.} = 149597870{,}5 \pm 1{,}6 \text{ км}.$$

Подробнее об истории определения расстояний до небесных тел см. [4], [5].

7. 1. ПРИЛИВНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И ИХ РОЛЬ В ДВИЖЕНИИ ЛУНЫ. Совпадение периодов обращения и вращения Луны — результат действия приливных сил. Океанические приливы и отливы известны очень давно. Но объяснить их удалось только после открытия закона всемирного тяготения. Представим, что земной шар равномерно покрыт водной оболочкой, и сравним ускорения, которые приобретают под действием тяготения Луны точки *A, O, B* (рис. 44). Эти ускорения обратно пропорциональны квадрату расстояния между Луной и выбранными нами точками. Поэтому ближайшая к Луне точка земной поверхности (*A*) приобретает большее ускорение, чем центр Земли (*O*). Наоборот, точка *B*, самая удаленная от Луны, получит ускорение к Луне меньше, чем центр Земли и станет как бы

Рис. 44. К объяснению явления приливов



отставать от центра Земли при своем движении к Луне. В результате с двух сторон Земли образуются приливные выступы (горбы).

Притяжение Солнца тоже вызывает приливы на Земле, но солнечные приливы в 2,2 раза меньше лунных.

В некоторых заливах и устьях рек, впадающих в океан, приливы иногда достигают 15—18 м. В последнее время, создавая приливные электростанции, люди начинают практически использовать огромную энергию, заключенную в приливах.

Приливные явления обнаружены в атмосфере и в земной коре.

Вследствие суточного вращения Земли двугорбая приливная волна обходит земной шар. Поэтому за время, несколько превышающее продолжительность суток, происходит два прилива и два отлива. Трение масс воды о морское дно — пример приливного трения. Приливное трение непрерывно замедляет вращение Земли (сутки увеличиваются на 0,016 с в столетие). Миллиарды лет назад Луна была ближе к Земле, а периоды вращения Земли и обращения вокруг нее Луны составляли (в соответствии с законом сохранения момента количества движения) всего лишь 4-5 наших теперешних часов. Притяжение Земли вызывало большие приливные волны в теле Луны. Постепенно под действием приливных сил Луна замедлила свое вращение до тех пор, пока период ее вращения не совпал с периодом обращения [6] .

8. 1. КАК БЫЛА ВПЕРВЫЕ СФОТОГРАФИРОВАНА ОБРАТНАЯ СТОРОНА ЛУНЫ. «Луна-3» стартовала в день второй годовщины космической эры. На траекторию полета к Луне была выведена автоматическая межпланетная станция (АМС) массой 278,5 кг. На станции находился большой комплекс аппаратуры, включая фототелевизионную с автоматической обработкой пленки на борту. Управление АМС осуществлялось по радиокомандам с Земли. Через 2,5 сут АМС «Луна-3», двигаясь по эллиптической траектории, обеспечивающей облет Луны, оказалась над обратной стороной Луны. Фотографирование производилось с расстояния 6200 км (от поверхности Луны). После обработки пленки на борту станции фототелевизионная система передала изображение на Землю.

8. 2. КАК БЫЛА СОВЕРШЕНА ПЕРВАЯ ЛУННАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ. Первые полеты людей на Луну были подготовлены всем ходом развития космонавтики (I, 131). Особую роль в их осуществлении сыграли: первый полет советского человека в космос (Ю. А. Гагарин, 12 апреля 1961 г.); первый выход советского человека в открытый космос (А. А. Леонов, 18 марта 1965 г.); первая мягкая посадка на Луну («Луна-9», 3 февраля 1966 г.); облеты Луны с возвращением на Землю советских автоматических станций «Зонд-5» и «Зонд-6» (1968), создание советских искусственных спутников Луны ИСЛ (1966—1968), а также успехи, достигнутые космонавтикой в США.

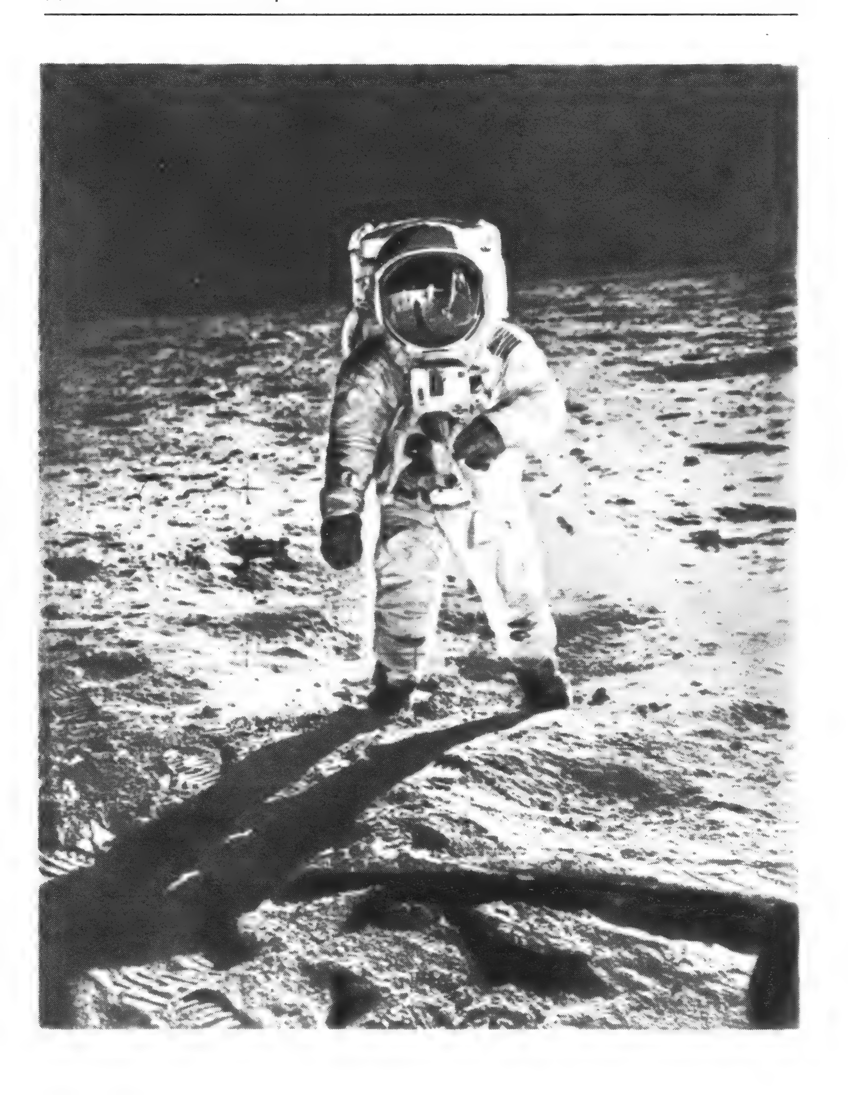


Рис. 45. Астронавт на поверхности Луны

16 июля 1969 г. стартовал американский космический корабль «Аполлон-11» с космонавтами Н. Армстронгом (командир корабля), М. Коллинзом (пилот основного блока), Э. Олдрином (пилот лунной кабины). Высота трехступенчатой ракеты-носителя («Сатурн-5») превышала 110 м, а начальная масса составляла около 3000 т, общая масса корабля «Аполлон» с запасом топлива была около 44 т. Сначала космический корабль вышел на почти круговую орбиту ИСЗ. Потом двигатели третьей ступени ракеты-носителя перевели корабль на траекторию полета к Луне. Через 76 ч после старта корабль уже был ИСЛ (в конечном итоге его орбита стала почти круговой с высотой 111 км над поверхностью Луны). Н. Армстронг и Э. Олдрин перешли в лунную кабину, отстыковались от основного блока и начали осуществлять посадку на Луну (переход на эллиптическую орбиту с минимальным удалением от поверхности Луны — 15 км, горизонтальный полет для выбора места посадки, прилунение в юго-западной части Моря Спокойствия). 21 июля 1969 г. Н. Армстронг, а затем и Э. Олдрин вышли на поверхность Луны (рис. 45) и в специальных скафандрах находились на ней более 2 ч (сбор образцов лунного грунта, установка телевизионной камеры, установка сейсмометра на поверхности Луны и т. д.). Пробыв на Луне 21,5 ч, космонавты стартовали с Луны, провели ряд маневров на окололунной орбите и состыковались с основным блоком корабля (в котором все время находился М. Коллинз). Затем Армстронг и Олдрин перешли в основной блок. Лунная кабина была отделена, а основной блок после включения двигателей перешел на траекторию полета к Земле. Полет завершился приводнением в Тихом океане. В дальнейшем был успешно осуществлен и ряд других экспедиций («Аполлон-12, -14, -15, -16, и 17).

8. 3. КАК «ЛУНА-16» ВЗЯЛА И ДОСТАВИЛА НА ЗЕМЛЮ ЛУННЫЙ ГРУНТ. Пилотируемые полеты к Луне имели большую научную ценность, но были сопряжены с огромным риском и материальными затратами. Поэтому не случайно американские ученые больше не планируют полетов людей на Луну. Советская программа освоения космоса предусматривает исследование Луны с помощью автоматических устройств. Об ее успехе свидетельствуют мягкие посадки советских АМС на Луну, выполнение программ луноходов («Луноход-1» и «Луноход-2») и, наконец, блестящие полеты станций, доставивших на Землю лунный грунт («Луна-16», 1970; «Луна-20», 1972; «Луна-24», 1976).

Взятие и доставка на Землю образцов лунного грунта без участия человека — поистине фантастический эксперимент. Познакомимся с ним на примере полета «Луны-16». Эта АМС стартовала с Земли 12 сентября 1970 г., через 5 сут вышла на орбиту ИСЛ, затем совершила мягкую посадку в районе Моря Изобилия. Уже через час после посадки по команде с Земли начало работать грунтозаборное

устройство. Бурение и извлечение грунта было выполнено с помощью бурового снаряда, который, вращаясь, погружался в грунт. По команде с Земли взятый грунт был загерметизирован в специальном контейнере и помещен в возвращаемый аппарат АМС. На следующий день «Луна-16» стартовала к Земле. 24 сентября возвращаемый аппарат благополучно приземлился и в тот же день поступил в распоряжение советских ученых. Контейнер подвергли стерилизации и поместили в приемную камеру, где было исключено всякое взаимодействие извлеченного из контейнера лунного грунта с воздухом и продуктами стерилизации. Доставленный грунт был подвергнут самому тщательному и разностороннему исследованию.

9. 1. ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ (III,132). Земля движется вокруг Солнца со скоростью около 30 км/с по эллиптической орбите, мало отличающейся от окружности ($e = 0{,}017$). Вращение Земли происходит вокруг оси, наклоненной к плоскости эклиптики под углом 66°33′. При движении Земли вокруг Солнца ось ее остается параллельной самой себе. Благодаря этому, как вам известно из курсов природоведения и географии, происходит смена времен года.

61•. *Зависит ли смена времен года от расстояния Земли от Солнца (в перигелии Земля бывает около 3 января, а в афелии — 5 июля)?*

Земля сжата у полюсов. Величину *сжатия* планеты (α) вычисляют по формуле:

$$\alpha = \frac{a-b}{a}, \qquad (22)$$

где a и b — соответственно экваториальный и полярный радиусы планеты.

62•. *Вычислите сжатие Земли, если известно, что ее полярный радиус равен 6 356 863 м, а экваториальный — 6 378 245 м.*

Изучая в разных точках земной поверхности скорость распространения внутри Земли сейсмических волн, вызванных землетрясениями или мощными искусственными подземными взрывами, геофизики исследуют внутреннее строение Земли. Это важно для изучения закономерностей поднятия и опускания больших участков земной коры, выяснения причин и условий образования полезных ископаемых, а также для того, чтобы научиться предсказывать землетрясения и извержения вулканов.

Средняя толщина земной коры на материках равна 35 км. Значительно тоньше кора под океанами. Плотность самых верхних слоев Земли около $3 \cdot 10^3$ кг/м^3, т. е. почти вдвое меньше ее средней плотности ($5{,}5 \cdot 10^3$ кг/м^3). С глубиной плотность возрастает, достигая вблизи центра значения ($14 \cdot 10^3 - 18 \cdot 10^3$ кг/м^3). В основном вещество в коре и мантии находится в твердом состоянии (в нем распространяются поперечные волны).

На глубине 2900 км проходит верхняя граница земного ядра. Вещество ядра находится в необычном состоянии: под действием давления в миллион атмосфер оно приобрело плотность даже во внешних областях около $9 \cdot 10^3$ кг/м^3, его температура не ниже $4 \cdot 10^3$К (в центре Земли около 10^4К), но при этом вещество ядра, подобно жидкой среде, не пропускает поперечные волны.

Приборы, поднимаемые на воздушных шарах, геофизических ракетах и искусственных спутниках Земли, передают на Землю данные о температуре, давлении, плотности и других характеристиках атмосферы Земли. Основные газы, входящие в состав атмосферы Земли, — азот N_2 (около 78%) и кислород O_2 (около 21%). Других газов в атмосфере Земли очень мало. Например, углекислого газа CO_2 около 0,03% . Газовая оболочка Земли не имеет резкой границы. Основная масса воздуха (более 80%) содержится в тропосфере, простирающейся в средних широтах земного шара примерно до высоты 15 км. По мере подъема над поверхностью Земли атмосфера становится все более разреженной. В тропосфере с высотой температура постепенно падает. В верхней атмосфере, состоящей из нескольких слоев, наблюдаются температурные минимумы (220 К на высоте около 15 км и примерно 180 К — на высоте около 80 км), температурный максимум (273 К на высоте около 50 км), рост температуры до значений 1600 К на высотах около 400 км.

Под действием солнечного излучения атомы воздуха ионизируются. Область атмосферы, где кроме нейтральных частиц есть значительное количество и свободных электронов, называется *ионосферой* (от 60 до нескольких сотен километров).

9. 2. НОВОЕ О МЕРКУРИИ, ВЕНЕРЕ И МАРСЕ. *Меркурий* (V, 134). До последнего времени, основываясь на визуальных и фотографических наблюдениях, астрономы считали, что эта планета всегда обращена к Солнцу одной стороной. Радиолокационные наблюдения позволили установить, что периоды вращения и обращения Меркурия не совпадают. Из-за того, что Меркурий находится близко от Солнца, имеет чрезвычайно разреженную атмосферу и на этой планете очень продолжительные дни и ночи, температура поверхности Меркурия днем достигает 660 К, а ночью падает примерно до 150 К. Из радиоастрономических наблюдений следует, что на глубине 10 см температура около 300 К и в течение года почти не меняется. Это, как и в случае Луны, можно объяснить плохой теплопроводностью поверхностного слоя планеты.

Американская АМС «Маринер-10» в 1974—1975 гг. трижды передавала на Землю фотографии Меркурия. Поверхность Меркурия покрыта кратерами. Рельеф планеты похож на лунный, но не тождествен рельефу Луны. Поверхность Меркурия скорее напоминает материковые, чем морские районы Луны. «Морей» на этой планете мало и они меньше, чем на Луне. Среди кратеров Меркурия встре-

чаются древние, полуразрушенные и относительно молодые. Дно некоторых кратеров залито лавой. На Меркурии открыты гигантские обрывы («эскарпы»). Их высота 2—3 км, а протяженность — сотни и даже тысячи километров.
Обнаружено магнитное поле Меркурия. Оно почти в 100 раз меньше магнитного поля Земли.
Венера (VI, 134). Новые сведения о Венере получены прежде всего благодаря успешным полетам автоматических межпланетных станций «Венера-4» (1967), «Венера-7» (1970), «Венера-8» (1972), «Венера-9» и «Венера-10» (1975). «Венера-4» впервые провела измерение параметров атмосферы планеты; «Венера-7» — первая станция, достигшая ночной стороны планеты; «Венера-8» впервые достигла дневной стороны планеты. «Венера-9» и «Венера-10» исследовали 65-километровую толщу атмосферы Венеры в двух районах, отстоящих на расстоянии 2000 км. На Землю были переданы первые панорамы поверхности Венеры и сведения о ее грунте. В результате установлено, что температура атмосферы Венеры вблизи поверхности около 750 К, давление 90—95 атм. Температура и давление, близкие к обычным условиям на Земле, существуют на высоте 55 км над поверхностью Венеры. Атмосфера в основном состоит из углекислого газа (97%), в небольших количествах в нее входят азот, водяной пар, аммиак и кислород. Солнечный свет, сильно ослабляясь, все-таки достигает поверхности планеты. Солнечные лучи нагревают поверхность, и она становится источником инфракрасного излучения. Но это излучение не уходит в межпланетное пространство, так как поглощается атмосферой и затем переизлучается обратно к поверхности. В результате такого «парникового эффекта» создается и поддерживается высокая температура вблизи поверхности планеты. Видимые с Земли облака Венеры находятся примерно на высоте 65 км. Здесь господствуют очень сильные ветры (до 100 м/с). Раньше считали, что облака, подобно земным, состоят из капель воды и льда, но оказалось, что их состав совершенно другой — концентрированный водный раствор серной кислоты с примесью плавиковой и соляной кислот. На поверхности планеты, очевидно, нет воды. В атмосфере Венеры воды примерно в 1000 раз меньше, чем в атмосфере Земли. Это означает, что или на Венере никогда не было много воды, или молекулы водяного пара интенсивно распадались под действием ультрафиолетового излучения Солнца и легкий водород улетал из атмосферы в космическое пространство, а кислород вступал в соединение с твердым веществом планеты.
О рельефе Венеры мы пока знаем не очень много. Радиолокационные исследования приводят к заключению, что в целом рельеф планеты более сглажен, чем у Луны и Марса. Но это не означает, что на Венере нет гор и кратеров: горы там есть, обнаружены и кратеры. На панорамах видны россыпи камней. Скорее всего они появились в

результате разломов каменного покрова планеты. А сам покров сформировался миллиарды лет назад, когда застывали потоки вулканической лавы. В конце 1978 г. был завершен полет к Венере четырех АМС: «Венеры-11», «Венеры-12» и двух американских космических аппаратов. Обработка и анализ новых данных позволят уточнить имеющиеся представления о Венере.

Марс (VI, 134). На протяжении многих десятилетий Марс изучали средствами наземной астрономии. Было установлено, что для Марса характерны: разреженная атмосфера, более суровый, чем на Земле, температурный режим, практическое отсутствие воды (в жидкой фазе). Когда-то пугавший суеверных людей красноватый цвет Марса объясняется цветом веществ, входящих в состав наружного покрова (розовым оказалось даже небо Марса). Вблизи полюсов планеты видны полярные шапки, площадь которых весной и летом уменьшается. 100 лет назад на Марсе была открыта сеть тонких и длинных линий, получивших название «каналов». Впоследствии наиболее крупные «каналы» удалось сфотографировать с Земли, но на снимках с космических аппаратов каналы не видны. Несколько десятилетий продолжался спор о природе каналов. Но сейчас на поверхности Марса открыто немало деталей, которые лишь издали могут казаться «каналами».

Новые данные о Марсе получены в результате ряда успешных полетов советских АМС типа «Марс» (1971—1973) и американских АМС типа «Маринер» (1965—1972) и «Викинг» (1976).

В атмосфере Марса содержится около 95% углекислого газа, 2—3% азота, 1—2% аргона, 0,1—0,4% кислорода, обнаружен и водяной пар (его количество в атмосфере довольно быстро и значительно меняется). Ветры, скорость которых достигает десятков метров в секунду, поднимают во время бурь в разреженную атмосферу Марса миллиарды тонн пыли. Марс оказался первым (после Луны) небесным телом, на котором были открыты кратеры (1965). Обнаружены небольшие и очень крупные кратеры (сотни километров в диаметре!). Кратеры открыты и на спутниках Марса. Марсианские кратеры в отличие от кратеров Луны и Меркурия подвергались сильной ветровой эрозии. Не видно на Марсе кратеров с лучевыми системами. На Марсе существуют протяженные возвышенности и низины. Один из самых возвышенных районов — Тарсис. Здесь обнаружено несколько высокогорных кратеров. Самая большая вулканическая кальдера — Олимпийские снега — имеет в диаметре 65 км, диаметр основания горы около 500 км, высота вулкана около 20 км. Таких гигантских гор нет ни на Луне, ни на Земле. Хотя никаких признаков современной вулканической активности на Марсе не обнаружено, предполагают, что в геологическом масштабе времени марсианские вулканы довольно молоды — их возраст десятки или сотни миллионов лет. Поверхность Марса пересечена гигантскими трещинами. Эти разломы имеют длину в тысячи километров, ширину около 100 км и глубину

более 5 км. (Сравните с рифтовой системой, открытой на дне земных океанов.) Такова, например, долина Копрат, тянущаяся с востока на запад почти на 80° марсианской долготы.

Полярные шапки Марса, по-видимому, содержат обычный лед, а не только замерзшую углекислоту, как предполагали еще недавно. Получено много данных, свидетельствующих о том, что на Марсе может существовать подповерхностный слой вечной мерзлоты, причем не исключено, что слой льда имеет большую толщину.

Теперь уже известно, что в состав поверхностных пород входят железо (его окислы окрашивают поверхность), кремний, кальций, сера, алюминий и другие хорошо известные на Земле химические элементы. Ни на панорамах Марса, ни в результате тщательных исследований марсианского грунта ученым не удалось обнаружить какие-либо признаки существования жизни на Марсе.

10.1. ЕСЛИ ВЫ НАШЛИ МЕТЕОРИТ... Из тысяч метеоритов, ежегодно падающих на Землю, лишь несколько попадает в руки ученых. Это объясняется прежде всего тем, что многие метеориты падают в океаны и моря, горные районы или пустыни. Но немало метеоритов, недавно или давно упавших на Землю, просто еще не найдено. Их обнаруживают при вспашке полей, рытье канав и колодцев, прокладке дорог, работе на рудниках, а то и просто во время туристических экскурсий и прогулок.

Отличить каменный метеорит от обычного камня или железный от куска железа нелегко. Но все-таки есть признаки, о которых полезно знать:

1. Недавно выпавшие метеориты имеют неправильную обломочную форму и покрыты тонкой блестящей корой плавления. Кора напоминает черный лак. Но если метеорит упал давно, то постепенно кора разрушается и ее окраска сходна со ржавчиной. На железных метеоритах кора может иметь синеватый оттенок, а там, где она слущена, заметен блеск металла.

2. Метеориты иногда имеют отчетливо выраженную конусообразную форму.

3. На поверхности метеоритов можно заметить углубления, напоминающие вмятины от пальцев в глине или пластилине («регмаглипты»).

4. Давно упавшие каменные метеориты легко крошатся и распадаются на части. Внутри они оказываются как бы пропитанными ржавчиной.

Найдя каменный метеорит, нужно внимательно осмотреть район находки: не исключено, что вы нашли один из осколков, на которые метеорит раздробился в воздухе. Иногда осколки обнаруживаются на площади в несколько квадратных километров.

Место находки полезно сфотографировать, фотографию вместе с описанием обстоятельств находки необходимо приложить к найденному экземпляру метеорита. Такую посылку отправляйте в

Москву в Комитет по метеоритам Академии наук СССР (*117313, Москва, В-313, ул. Марии Ульяновой, д. 3, корп. 1*). За каждый переданный в Комитет метеорит нашедшему выдается денежная премия [13].

11. 1. ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА. На протяжении миллиардов лет Солнце ежесекундно излучает огромное количество энергии. Как и вообще все физические процессы, излучение Солнца подчиняется закону сохранения и превращения энергии. Следовательно, энергия Солнца (как и энергия других звезд) не может возникнуть из ничего, и существуют источники, поддерживающие непрерывное излучение Солнца и звезд.

Начиная с середины прошлого века высказывались различные предположения. Например, считали, что энергия Солнца освобождается при его сжатии. В другой гипотезе источники энергии Солнца связывали с распадом радиоактивных элементов в его недрах. Оба эти процесса сопровождаются выделением энергии, но, как показывают расчеты, не они главные источники энергии Солнца.

Согласно современным представлениям, в недрах Солнца происходят термоядерные реакции. Протоны, имеющие положительные электрические заряды, в обычных условиях, отталкиваясь, разлетаются друг от друга. Но в недрах Солнца в условиях огромных температур скорость протонов настолько велика, что они сближаются, преодолевая электрические силы отталкивания. На очень близких расстояниях вступают в действие мощные ядерные силы и начинаются реакции, в результате которых ядра водорода превращаются в ядра гелия. Рассмотрим один из возможных путей такого превращения. Слияние двух протонов (^1_1H) сопровождается образованием ядра тяжелого водорода дейтерия (^2_1H) и испусканием двух элементарных частиц: позитрона (e^+) и нейтрино (ν). Кратко эту реакцию можно записать так:

$$^1_1H + ^1_1H \rightarrow ^2_1H + e^+ + \nu. \qquad (23а)$$

Вероятность того, что два протона вступят в реакцию, очень мала. Но в недрах Солнца протонов очень много, и поэтому такие реакции в действительности могут происходить. Если образовавшийся в результате взаимодействия протонов дейтерий сам вступит в ядерную реакцию с протоном, то возникнет ядро легкого изотопа гелия (^3_2He) и выделится энергия в виде коротковолнового гамма-излучения (γ):

$$^2_1H + ^1_1H \rightarrow ^3_2He + \gamma \qquad (23б)$$

В дальнейшем слияние двух ядер (^3_2He) приведет к образованию ядра гелия (^4_2He) и двух ядер водорода:

$$^3_2He + ^3_2He \rightarrow ^4_2He + ^1_1H + ^1_1H. \qquad (23в)$$

Рассмотренная цепочка из трех реакций называется *протон-протонным* циклом. В результате этого цикла из *четырех ядер водорода образуется одно ядро гелия.* Какое же количество энергии выделяется при этом? Масса одного протона в атомных единицах составляет 1,008, четырех — 4,032. Поскольку масса одного атома гелия — 4,004, то разность — 4,032 — 4,004 = 0,028 («дефект массы»). Так как 0,028:4,032 = 0,007, то при синтезе 1 кг водорода дефект массы составит примерно 0,007 кг. Зная это и используя открытый Эйнштейном закон взаимосвязи массы и энергии ($E = mc^2$), подсчитаем сколько энергии выделится при «сгорании» 1 кг водорода:

$$E = mc^2 = 0{,}007 \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \approx 6{,}3 \cdot 10^{11}\ \text{Дж}.$$

63*. *Какое количество энергии выделилось бы, если бы Солнце целиком состояло из водорода и весь водород превратился бы в гелий? На сколько лет хватило бы водорода для поддержания нынешней светимости Солнца? (V, 133).*

Выполнив вычисления, необходимые для ответа на вопросы этой задачи, можно убедиться, что Солнце, хотя оно и не целиком состоит из водорода, будет светить так же, как и сейчас, еще миллиарды лет.

Интересно, что одним из продуктов протон-протонного цикла оказались *нейтрино* — элементарные частицы, не имеющие заряда и массы покоя. Нейтрино способны почти без взаимодействия с веществом проникать сквозь толщу Солнца, унося некоторое количество энергии из его центральных областей. Значит, в принципе, нейтринное излучение в отличие от всех других видов излучения могло бы помочь «заглянуть» в недра Солнца. Но из-за огромной проникающей способности нейтрино эти частицы невозможно непосредственно зарегистрировать какими-либо обычными счетчиками элементарных частиц. И все-таки нейтринные телескопы — приборы для обнаружения нейтрино — уже построены и установлены глубоко под землей, куда никакие другие частицы проникнуть не могут.

В канун 60-летия Великого Октября было завершено строительство первой очереди советской нейтринной обсерватории. В глубоких подземных залах горы Андырчи (Северный Кавказ) размещена крупнейшая ядерно-физическая установка (сцинтилляционный телескоп), предназначенная для разнообразных экспериментов в области физики элементарных частиц и только что рождающейся «нейтринной астрофизики». Нейтринные телескопы не имеют ничего общего с оптическими или радиотелескопами. Первые из таких телескопов представляли собой огромные цилиндрические резервуары, наполненные сотнями тысяч литров жидкости, богатой изотопом хлора с атомным весом 37. Улавливая нейтрино, атомы изотопа хлора превращались в атомы радиоактивного изотопа

аргона (также с атомным весом 37), появление которого может быть зафиксировано специальными счетчиками. Подобные наблюдения помогут выяснить, насколько верна общепринятая гипотеза об источниках энергии Солнца.

Открытие источника энергии звезд имеет важное значение для понимания процессов, происходящих внутри звезд. Кроме того, оно послужило толчком к поискам путей технического использования термоядерного синтеза в земных условиях (проблема управляемых термоядерных реакций) [3], [7], [8].

12. 1. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СОЛНЦА. Солнце излучает не только свет и тепло. Оно — источник *рентгеновского, ультрафиолетового* и *радиоизлучения,* а также потоков электрически заряженных частиц (корпускул). Каждый вид солнечного излучения влияет на происходящие на Земле процессы.

Из общего количества энергии, излучаемой Солнцем, границ земной атмосферы достигает лишь одна двухсотмиллиардная часть. Примерно треть солнечного излучения, падающего на Землю, отражается и рассеивается в межпланетном пространстве. Много солнечной энергии идет на нагревание земной атмосферы, океанов и суши. Для будущего развития энергетики необходимо научиться непосредственно превращать солнечную энергию в другие виды энергии. Уже применяются в народном хозяйстве простейшие гелиотехнические установки: различные типы солнечных теплиц, парников, опреснителей, водонагревателей, сушилок. Солнечные лучи, собранные в фокусе вогнутого зеркала, плавят самые тугоплавкие металлы. Ведутся работы по созданию солнечных электростанций, по использованию солнечной энергии для отопления домов и т. д. Практическое применение находят полупроводниковые солнечные батареи, позволяющие непосредственно превращать солнечное излучение в электричество. Наряду с химическими источниками тока солнечные батареи успешно используются, например, в качестве источников электропитания ИСЗ и АМС. Все это лишь первые успехи гелиотехники.

Ультрафиолетовые и рентгеновские лучи исходят в основном от верхних слоев хромосферы и короны. Горячая солнечная атмосфера всегда испускает невидимое коротковолновое излучение, но особенно мощным оно бывает в годы максимума солнечной активности. В это время ультрафиолетовое излучение возрастает примерно в два раза, а рентгеновское — в десятки и даже сотни раз по сравнению с излучением в годы минимума. Интенсивность коротковолнового излучения изменяется также ото дня ко дню, резко возрастая, когда в хромосфере Солнца происходят вспышки. Коротковолновое солнечное излучение в основном поглощается атмосферой Земли. Ультрафиолетовые и рентгеновские лучи частично ионизуют слои воздуха, образуя ионосферу. Ионосфера играет важную роль в осуществлении дальней радиосвязи: радиоволны, идущие от

радиопередатчика, прежде чем достичь антенны приемника, многократно отражаются от ионосферы и от поверхности Земли. Состояние ионосферы меняется в зависимости от условий освещения ее Солнцем и от происходящих на Солнце явлений. Поэтому для обеспечения устойчивой радиосвязи приходится учитывать время суток, время года и состояние солнечной активности. Когда на Солнце происходят мощные вспышки, число ионизованных атомов в ионосфере возрастает и радиоволны частично или полностью поглощаются ею. Это приводит к ухудшению или даже к временному прекращению радиосвязи.

Солнце — источник радиоизлучения. В межпланетное пространство проникают радиоволны, которые излучает хромосфера (сантиметровые волны) и корона (дециметровые и метровые волны). Это радиоизлучение и достигает Земли. Радиоизлучение Солнца имеет две составляющих — постоянную, почти не меняющуюся, и переменную, спорадическую (всплески, «шумовые бури»). Радиоизлучение спокойного Солнца имеет тепловой характер, т. е. объясняется тем, что горячая плазма излучает радиоволны наряду с электромагнитными колебаниями других длин волн. Во время больших хромосферных вспышек радиоизлучение Солнца возрастает в тысячи и даже миллионы раз по сравнению с радиоизлучением спокойного Солнца. Подобные радиовсплески нельзя объяснить тепловым излучением, потому что мощность их излучения соответствует такой высокой температуре, которая никогда не бывает на Солнце.

12.2. КОРПУСКУЛЯРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СОЛНЦА. Некоторые геофизические явления (магнитные бури и полярные сияния) явно связаны с солнечной активностью, но происходят не ранее, чем через сутки после появления на Солнце хромосферных вспышек. Это объясняется тем, что одновременно с электромагнитным излучением, которое доходит до Земли через 8,3 мин, во время вспышки извергаются корпускулы, с опозданием проникающие в околоземное пространство.

Корпускулы испускаются и спокойным Солнцем, когда на нем нет вспышек и пятен. Источник постоянного истечения плазмы — солнечная *корона*. Непрерывно расширяясь, корона создает солнечный ветер — поток протонов и электронов, охватывающий движущиеся вблизи Солнца планеты и кометы. Вспышки сопровождаются усилением солнечного ветра. Эксперименты на космических ракетах и искусственных спутниках Земли позволили непосредственно обнаружить протоны и электроны солнечного ветра в межпланетном пространстве. Солнечный ветер ограничивает в пространстве магнитные поля планет (например, Земли и Юпитера). У таких планет образуются *магнитосферы,* т. е. области, в которых как бы локализованы магнитные поля. Внутри магнитосфер расположены *радиационные пояса*, представляющие собой тороидальные (похожие на бублики) области пространства, заполненные быстро дви-

жущимися электрическими частицами, оказавшимися в магнитных ловушках.

13.1. МЕЖЗВЕЗДНАЯ СРЕДА. **Пространство между звездами заполнено очень разреженной газовой и пылевой материей.** В нем существуют магнитные и гравитационные поля, его пронизывают космические лучи. Межзвездный газ и пыль обычно перемешаны, и часто вещество, находящееся между звездами, называют общим термином «диффузная материя». В среднем диффузная материя на 99% состоит из газа и лишь 1% приходится на межзвездную пыль. Межзвездный водород — основной газ, из которого состоит межзвездная среда, а остальные рассматриваются как примеси.

В межзвездной среде открыты кальций, натрий, кислород, калий, а также другие элементы. В последние годы в межзвездной среде уже открыто несколько десятков различных молекулярных соединений, включая довольно сложные (гидроксид OH, вода H_2O, этиловый спирт C_2H_5OH, формальдегид H_2CO; двуокись серы SO_2 и др.). Межзвездный газ очень разрежен. В среднем в 1 $см^3$ межзвездного пространства в окрестностях Солнечной системы содержится не более одного атома водорода. Это ничтожно малая плотность (в обычных земных условиях в 1 $см^3$ содержится $2{,}7 \cdot 10^{19}$ молекул, а в вакуумных камерах, которыми оснащены современные физические лаборатории, в каждом 1 $см^3$ примерно $10^9 - 10^{10}$ атомов). В межзвездном пространстве есть ионизованный и нейтральный водород. *Ионизованный* водород находится вблизи звезд, а *нейтральный* — вдали от них. Исследование радиоизлучения нейтрального водорода на длине волны 21 см стало основным источником сведений о количестве межзвездного водорода и его распределении в пространстве.

Пылевая материя распределена в пространстве очень неравномерно, а потому вызываемое ею поглощение света звезд неодинаково в различных направлениях. Наибольшее поглощение испытывает свет звезд, расположенных вблизи плоскости Млечного Пути. В этом направлении из-за поглощения света вообще не видны многие объекты, удаленные от нас на 2—3 Кпк. Исследуя характер поглощения света, можно получить представление о физических свойствах космической пыли и прежде всего о размерах пылинок. Скорее всего, свет звезд ослабляется очень маленькими пылинками, радиус которых лишь $10^{-4} - 10^{-5}$ см. Возможно, что это небольшие кристаллики льда или графитовые частицы.

В различных участках неба можно увидеть в телескоп туманные пятна, состоящие из диффузной материи. Это *туманности.* Туманности, отличающиеся неправильной формой, называются *диффузными,* а имеющие форму, близкую к сферической, — планетарными.

Диффузные туманности бывают светлые и темные. Светлая туманность освещается горячей звездой, оказавшейся вблизи нее



Рис. 46. Светлая диффузная туманность (созвездие Ориона)

(рис. 46). Пример светлой диффузной туманности — большая туманность в созвездии Ориона. Расстояние до нее 50 пк. Центральная часть туманности имеет в поперечнике около 6 пк. Как показывают спектральные наблюдения, туманность Ориона состоит из газа. Масса туманности в Орионе примерно в 100 раз превосходит массу Солнца, а плотность газа в ней в 100 раз превышает среднюю плотность межзвездного газа. К диффузным относится и Крабовидная туманность.

Не все светлые диффузные туманности состоят из газа. Известно немало туманностей, состоящих из космической пыли. Они отражают свет звезд.

Темные туманности четко выделяются на фотографиях звездного неба (рис. 47). Они расположены сравнительно близко от нас и так сильно поглощают свет звезд, что нередко звезды за ними вообще не видны. Одна из таких туманностей, которая наблюдается в виде черного пятна в созвездиях Южного Креста, даже получила название «Угольный Мешок». Темные туманности в основном состоят из космической пыли.

Планетарные туманности свое название получили благодаря тому, что некоторые из них в небольшие телескопы напоминают диски планет (рис. 48). Планетарные туманности состоят из раз-

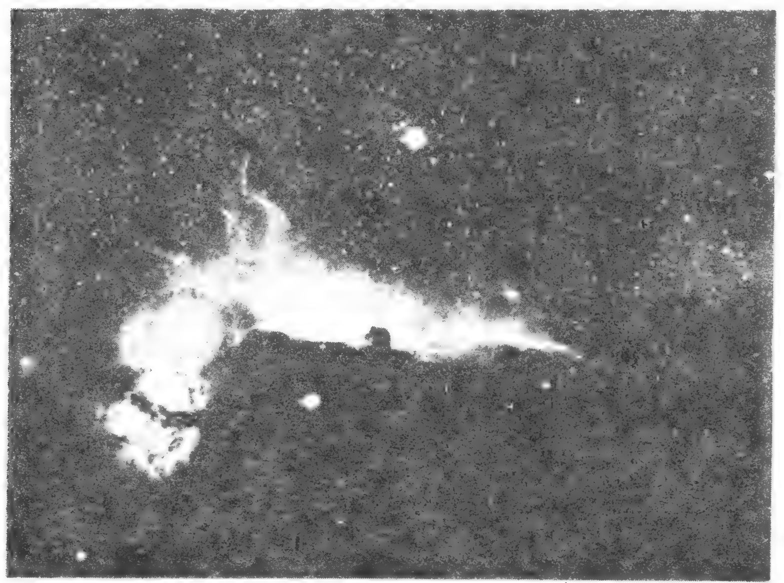


Рис. 47. Темная туманность «Конская Голова» (созвездие Ориона)

реженного газа. Массы их достигают 0,1 массы Солнца. Спектры планетарных туманностей показывают, что эти туманности расширяются со скоростью в несколько десятков километров в секунду. Главные линии в спектре принадлежат водороду, гелию и дважды ионизованному кислороду. Последний долгое время считался таинственным веществом («небулием»), так как его не могли отождествить с каким-нибудь известным на Земле химическим элементом.



Рис. 48. Планетарная туманность (созвездие Лиры)

В центре планетарной туманности всегда находится очень горячая звезда. Туманность со всех сторон окружает звезду, образуя прозрачную сферическую оболочку. Вероятно, газ, из которого состоит планетарная туманность, был когда-то выброшен звездой. Этот газ поглощает коротковолновое излучение звезды, а излучает в видимой области спектра. Такой процесс (флуоресценция), а не простое отражение света, объясняет излучение туманности [2], [12].

13. 2. СПЕКТРАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЗВЕЗД. Спектры звезд сгруппированы в семь основных *спектральных классов*. Они обозначаются буквами латинского алфавита, расположенными в следующем порядке: *O — B — A — F — G — K — M*. В более детальной классификации каждый спектральный класс делится на 10 подклассов. Например: *G*0, *G*1,... *G*9 (Солнце относится к *G*2).

Последовательность спектральных классов отражает прежде всего различие температур (и, следовательно, цвета) звезд. При сравнительно невысоких температурах (красные звезды) в атмосферах звезд могут существовать нейтральные атомы и даже простейшие молекулярные соединения. В атмосферах горячих (голубых и белых звезд) преобладают ионизованные атомы.

Класс O. Непрерывный спектр таких звезд пересечен темными линиями поглощения, характерными для ионизованного гелия, азота, кислорода. В атмосферах этих звезд имеются и другие химические элементы, но благодаря высокой температуре атомы многих химических элементов оказываются многократно ионизованными. Спектральные линии многократно ионизованных атомов находятся в далекой ультрафиолетовой области спектра, которая, как мы знаем, поглощается земной атмосферой.

Класс *B*. Эти звезды часто называют «гелиевыми», так как в их спектрах много линий поглощения нейтрального гелия.

Класс *A*. Наиболее интенсивны линии поглощения водорода.

Класс *F*. Линии водорода слабеют, но зато появляются линии поглощения, свойственные ионизованным металлам, например кальцию.

Класс *G*. В спектре этих звезд (к ним близок и спектр Солнца) много линий поглощения, принадлежащих ионизованным и нейтральным атомам металлов. Линии водорода, которого много в атмосферах звезд, ослаблены. Это объясняется тем, что при температуре, свойственной звездам класса *G*, поглощение света водородом становится менее существенным, чем в атмосферах более горячих звезд.

Класс *K*. Кроме линий поглощения металлов в спектрах этих звезд видны полосы, принадлежащие молекулярным соединениям.

Класс *M*. В спектрах этих (и более холодных звезд) выделяются молекулярные полосы поглощения (особенно окиси титана).

14. 1. СВЯЗЬ МЕЖДУ ОСНОВНЫМИ ФИЗИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЗВЕЗД. Диаграмма «спектр — светимость». В начале нынешнего века голландский астроном Герцшпрунг и американский астроном Рессел независимо друг от друга обнаружили, что существует связь между спектрами звезд и их светимостями. Эта связь

представлена графиком (рис. 49), по горизонтальной оси которого отложены спектральные классы (или соответствующие им цвет и температура) звезд, а по вертикальной — светимости (или соответствующие им абсолютные величины звезд).

Каждой точке диаграммы, получившей название «спектр — светимость», соответствует определенная звезда с известным спектральным классом и светимостью. Если бы эти физические характеристики звезд были независимыми, то в расположении точек на диаграмме не было бы каких-либо закономерностей. Однако мы видим, что точки на диаграмме группируются в пределах нескольких областей, названных последовательностями. Наиболее заметна главная последовательность, простирающаяся от горячих сверхгигантов до холодных красных карликов. Сюда входит больше всего звезд, включая Солнце. Рассматривая главную последовательность, можно заметить, что чем горячее относящиеся к ней звезды, тем бóльшую светимость они имеют. Обособленно от главной последовательности в разных частях диаграммы «спектр — светимость» сгруппированы сверхгиганты и белые карлики.

64•. *Существуют ли звезды спектрального класса A с абсолютной звездной величиной, равной 4^m?*

65•. *Может ли светимость звезды спектрального класса B превышать светимость Солнца в 10 000 раз?*

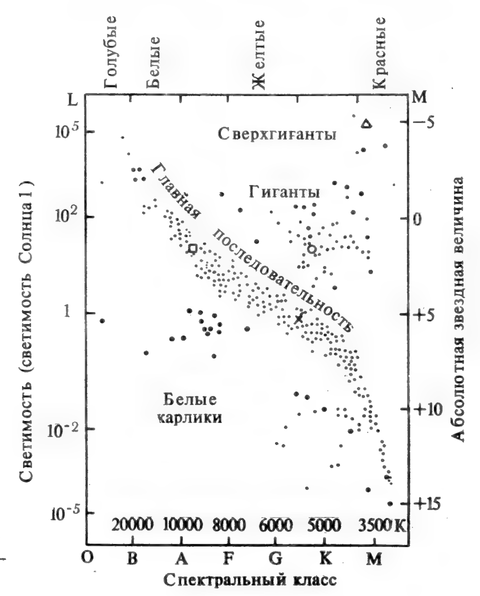


Рис. 49. Диаграмма «спектр — светимость»

66•. *Существуют ли звезды, светимость которых в 100 раз меньше светимости Солнца, а температура около 30 000 К?*

Соотношение «масса — светимость». Масса — важнейшая физическая характеристика звезды. Существует связь между массой звезды и ее светимостью. Наглядное представление об этом дает диаграмма (рис. 50), по одной оси которой отложены массы звезд, а по другой — их светимости (или абсолютные звездные величины). Из диаграммы видно, что чем больше масса звезды, тем больше ее светимость. Светимость примерно пропорциональна 4-й степени массы звезды:

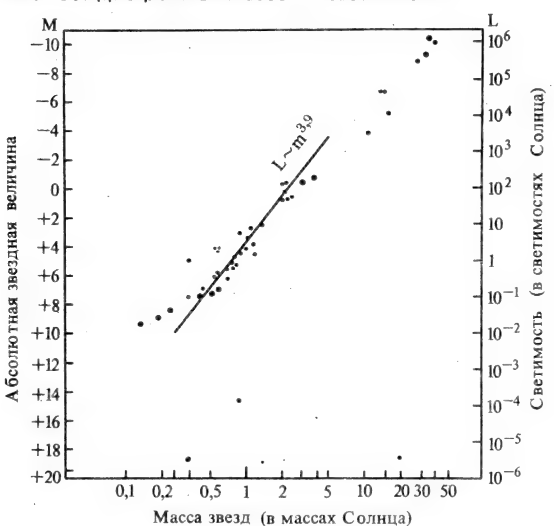
$$L \sim m^{3,9}. \qquad (24)$$

Для построения диаграммы «масса — светимость» использовались обычные звезды (т. е. звезды, принадлежащие к главной последовательности), а другие звезды, например белые карлики, были исключены.

67•. *Звезды каких спектральных классов наиболее массивны?*

15. **1.** ЗВЕЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ. Изучение мира звезд показывает, что очень часто звезды входят в состав систем различной сложности. Простейшие и, как вы уже знаете, очень распространенные системы звезд — это *двойные* звезды. Более сложные системы — *кратные* звезды — насчитывают иногда до 10 звезд, связанных между собой силами тяготения. Как должно быть красиво небо на

Рис. 50. Диаграмма «масса — светимость»



планете, движущейся вокруг одной из звезд системы! Множество звезд входит в состав звездных систем, которые называются звездными скоплениями.

В созвездии Тельца простым глазом хорошо видна красивая группа звезд. Это звездное скопление Плеяды (известное также под названием «Стожары»). Блеск самой яркой звезды в Плеядах (Альционы) составляет $2{,}9^m$. В зависимости от остроты зрения глаз различает в Плеядах 5—8 звезд, в бинокль их видно 30—40, в крупные телескопы все поле зрения усыпано звездами (рис. 51). Плеяды — пример *рассеянного* звездного скопления.

Всего известно несколько сотен рассеянных звездных скоплений. В наиболее крупных из них — тысячи звезд. Рассеянные звездные скопления неустойчивы: например, вид скопления Плеяды может через миллионы лет неузнаваемо измениться.

Это значит, что рассеянные звездные скопления недолговечны, а входящие в их состав звезды значительно моложе Солнца и окружающих его планет.

От рассеянных звездных скоплений резко отличаются *шаровые* скопления (рис. 52). В настоящее время известно около 100 шаровых скоплений. В них насчитываются сотни тысяч, а иногда и до миллиона звезд.

Когда мы рассматриваем фотографию шарового скопления, то создается впечатление, что звезды вблизи его центра сливаются друг с другом. На самом деле сливаются лишь их изображения на фотографической пластинке. Даже в центре шаровых скоплений расстояния между звездами очень велики по сравнению с размерами звезд. Но все-таки средние расстояния между звездами внутри шаровых скоплений меньше, чем расстояния между звездами в окрестностях Солнца. Наблюдатель, оказавшийся внутри скопления, наверное, увидел бы небо со множеством очень ярких звезд. В шаровых скоплениях почти нет ярких звезд главной последовательности (бело-голубых гигантов и сверхгигантов), но есть много красных и желтых гигантов и сверхгигантов.

Шаровые скопления относятся к очень устойчивым звездным системам. Это буквально чувствуется при рассмотрении фотографий шаровых скоплений. Расчеты подтверждают зрительное впечатление: шаровые скопления могут сохраняться, не распадаясь, миллиарды лет. Значит, в их состав входят очень старые звезды [5], [16].

16. 1. ГИПОТЕЗА «ГОРЯЧЕЙ ВСЕЛЕННОЙ». Согласно этой гипотезе, в далеком прошлом вещество Метагалактики было чрезвычайно плотным и горячим. Расчеты, выполненные астрофизиками (в Советском Союзе академиком Я. Б. Зельдовичем и его сотрудниками), свидетельствуют о том, что вскоре после начала расширения Метагалактика (задолго до возникновения галактик и звезд!) представляла собой «лабораторию высоких энергий и температур»,



Рис. 51. Фотографии рассеянного звездного скопления Плеяды (созвездие Тельца). *Сравните их*

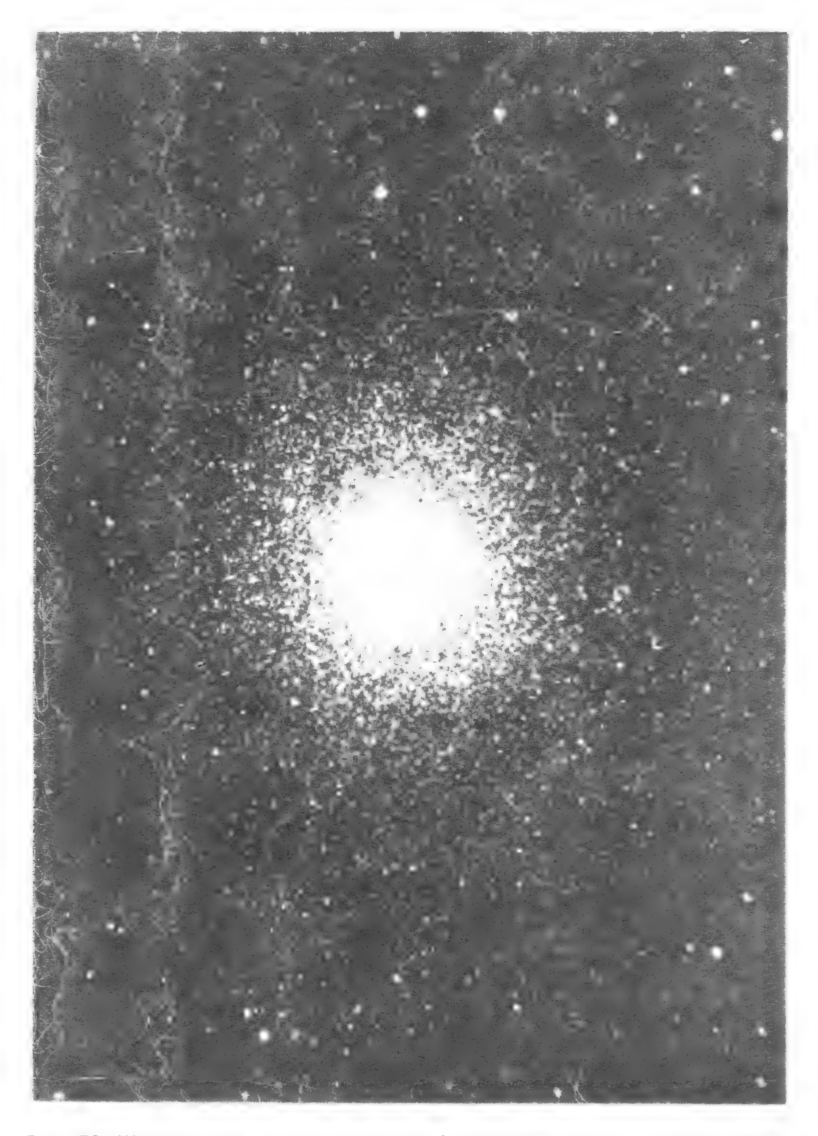


Рис. 52. Шаровое звездное скопление (созвездие Геркулеса). *Обратите внимание на его правильную форму и постепенное уменьшение числа звезд от центра к внешним областям скопления*

в которой находились разнообразные элементарные частицы. По мере расширения и снижения температуры происходила аннигиляция многих частиц и античастиц. Ученые наблюдают сегодня кванты излучения, стабильные частицы (протоны и нейтроны), из которых состоят небесные тела, а также надеются обнаружить такие «частицы», как нейтрино и гравитоны.

Существуют ли экспериментальные подтверждения гипотезы «горячей Вселенной»? Вероятно, сейчас мы можем ответить на этот вопрос положительно, так как в 1965 г было сделано открытие, которое можно считать таким подтверждением. Оказывается, космическое пространство заполнено электромагнитными волнами, являющимися посланцами той древнейшей эпохи развития Метагалактики, когда еще не было никаких звезд, галактик, туманностей. Это электромагнитное излучение называется первичным или реликтовым излучением. Расширяется не только система галактик, но и реликтовое излучение, которое пронизывает все пространство, все галактики. Реликтовое излучение впервые было случайно открыто американскими учеными, изучавшими радиопомехи на волне 7,3 см. Очень интересно и важно, что, хотя это открытие было случайным, существование реликтового излучения было теоретически предсказано астрофизиками. Предсказание существования реликтового излучения и обнаружение его в космическом пространстве — новый убедительный пример познаваемости мира и его закономерностей. Дальнейшее изучение движения и природы внегалактических объектов позволит получить новые данные о Вселенной. Но уже сегодня мы представляем себе Вселенную совсем не так, как несколько десятилетий назад. Представление о неподвижных, неизменяющихся звездах сменилось представлением о бурных эволюционных процессах, происходящих на стремительно мчащихся звездах и в ядрах галактик, удаляющихся друг от друга с чудовищными скоростями.

Исследование Вселенной прочно основывается на открытых в земных условиях законах физики. Эти законы позволили объяснить подавляющее большинство известных в настоящее время космических явлений. В процессе познания Вселенной астрофизика обогатит физику открытием новых типов космических объектов (со свойственными им состояниями вещества), новых источников энергии, а может быть, и новых фундаментальных законов природы [3], [8].

17. 1. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И РАЗВИТИЕ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ.

Сотни тысяч лет назад небо Земли украшали фигуры других созвездий, миллиарды лет назад вообще еще не было Земли, Луны, планет, Солнца, многих звезд и галактик. Но вечно существовала материя, из которой впоследствии образовались галактики, звезды, планеты. Когда и как именно это произошло, наука стремится выяснить, изучая небесные тела и их системы. Раздел астрономии, занимаю-

щейся проблемами происхождения и развития небесных тел, называется *космогонией*.

Важную роль в космогонии, как и вообще в естествознании, играют **космогонические** ***гипотезы*****, которые выдвигаются и** обосновываются на основе астрономических наблюдений. В космогонических гипотезах в значительной мере находит свое отражение общий уровень естествознания. Дальнейшее развитие науки, обязательно включающее в себя астрономические наблюдения, подтверждает или опровергает эти гипотезы. Плодотворные гипотезы не только могут объяснить уже известные из наблюдений факты, но и предсказать новые открытия.

В космогонии не обсуждался вопрос о происхождении Вселенной. Сама постановка этого вопроса лишена смысла. Вселенная вечна, она не имела начала и не будет иметь конца. Возникшие в древности легенды о сотворении мира богом ничего не объясняют, а лишь заменяют одно непонятное другим, еще более непонятным. Верить этим легендам, не выдерживающим никакой научной критики, могут сейчас только те люди, которые совершенно не знакомы с достижениями современной науки.

Данные космогонии подтверждают, что «...учению религии, например, о прошлом Земли и о сотворении мира не соответствует никакой объективной реальности. Учению науки о том, что Земля существовала *до* всякой социальности, *до* человечества, *до* органической материи, существовала в течение *определенного* времени, в *определенном* по отношению к другим планетам пространстве, — этому учению (хотя оно так же относительно на каждой ступени развития науки, как относительна и каждая стадия развития религии) *соответствует* объективная реальность»[1]. Таким образом, данные космогонии следует рассматривать как естественнонаучное материалистическое решение основного вопроса философии.

68•. *В чем заключается основной вопрос философии и почему данные космогонии подтверждают правильность его материалистического решения?*

Большинство астрономов считают, что звезды (и даже целые галактики) образуются в результате сгущения (конденсации) облаков газа. Представим себе, что холодное газово-пылевое облако по каким-то причинам стало сжиматься. Постепенно под действием сил тяготения облако примет шарообразную форму. При сжатии будут возрастать плотность и температура облака. Возникнет будущая звезда («протозвезда»). Температура ее поверхности пока еще мала, но протозвезда уже излучает небольшое количество энергии, и поэтому рождающиеся звезды можно надеяться обнаружить среди довольно многочисленных источников инфракрасного излучения

---
[1]*Ленин В. И.* Полн. собр. соч., т. 18, с. 194—195.

9—797

Термоядерные реакции начинаются, когда в процессе сжатия протозвезды температура в ее недрах достигнет примерно 10^7 К. С этого времени стадия сжатия звезды прекращается, так как теперь сила внутреннего давления газа сможет уравновесить силу притяжения внешних частей звезды. Стадия сжатия звезд, масса которых значительно больше массы Солнца, продолжается всего лишь сотни тысяч лет, а звезды, массы которых меньше солнечной, сжимаются сотни миллионов лет. Чем больше масса звезды, тем при большей температуре достигается равновесие. Поэтому у массивных звезд самые большие светимости (соотношение «масса — светимость»).

Стадию сжатия сменяет стационарная стадия, сопровождающаяся постепенным «выгоранием» водорода. В этой стационарной стадии звезда проводит большую часть своей жизни. Именно в этой стадии эволюции находятся звезды, которые на диаграмме «спектр — светимость» располагаются на главной последовательности. Таких звезд, как мы знаем, наблюдается больше всего. Время пребывания звезды на главной последовательности зависит от массы звезды. Массивные звезды, излучающие большое количество энергии, эволюционируют быстро и находятся в стационарной стадии только несколько миллионов лет, а звезды, подобные Солнцу, — не менее 10^{10} лет.

Когда весь водород в центральной области звезды превратится в гелий, внутри звезды образуется гелиевое ядро. Теперь водород будет превращаться в гелий не в центре звезды, а в слое, прилегающем к ядру. Пока внутри гелиевого ядра нет источников энергии, оно будет постепенно сжиматься и при этом еще больше разогреваться. Когда температура внутри звезды превысит $15 \cdot 16^6$ К, гелий начнет превращаться в углерод ($3\,{}^4_2He \rightarrow {}^{12}_6C$). Как показывают расчеты, светимость и размеры звезды будут возрастать. В результате обычная звезда постепенно превратится в красный гигант или сверхгигант. Такие звезды, как мы знаем, занимают особое положение на диаграмме «спектр — светимость».

Заключительный этап жизни звезды, как и вся ее эволюция, решающим образом зависит от массы звезды. Оболочки звезд, подобных нашему Солнцу (но с массами, не большими 1,2 массы Солнца), постепенно расширяются и в конце концов совсем покидают ядро звезды. На месте красного гиганта остается очень маленький и горячий белый карлик. В мире звезд белых карликов много. Это означает, что, по-видимому, многие звезды превращаются в белых карликов, которые затем постепенно остывают, становясь «потухшими звездами».

Иная судьба у массивных звезд. Если масса звезды не более чем вдвое превышает массу Солнца, то такие звезды на последних этапах своей эволюции теряют устойчивость, в частности, они могут взорваться как сверхновые, а затем катастрофически сжаться до

размеров шаров диаметром в несколько километров и имеющих исключительно большую плотность («нейтронные звезды»).

Если же масса звезды более чем вдвое превышает массу Солнца, то она, потеряв равновесие и начав сжиматься, вообще не может достигнуть устойчивого состояния. В процессе неограниченного сжатия она, по-видимому, может превратиться в удивительный объект — «застывшую звезду» или *«черную дыру»*. Это странное название связано с тем, что могучее поле тяготения не выпускает за ее пределы никакое излучение. Поэтому «черную дыру» вообще нельзя «увидеть» ни в каком диапазоне электромагнитных волн. Но «черная дыра» может оказывать гравитационное воздействие на окружающие тела. В частности, есть надежда обнаружить «черные дыры» в составе двойных звезд, если одна из звезд пары — обычная звезда, а другая — «черная дыра».

Академик В. А. Амбарцумян и его сотрудники уже много лет отстаивают гипотезу, согласно которой звезды образуются не из разреженного, а из сверхплотного вещества. Из такого вещества, по мнению В. А. Амбарцумяна, должны были состоять «дозвездные тела». Взрываясь, они породили звезды. Дальнейшее развитие науки покажет, какие из сегодняшних представлений о происхождении звезд окажутся правильными. Но уже теперь нет сомнения в том, что звезды, подчиняясь законам природы, рождаются, живут и умирают, а не представляют собой однажды «созданные богом» и вечно неизменные объекты Вселенной.

В звездной космогонии, занимающейся проблемами происхождения звезд, еще много нерешенных вопросов. От их решения зависят и успехи планетной космогонии, потому что образование звезд и планет скорее всего происходит в едином процессе развития материи в галактиках.

Проблема происхождения Земли и планет очень сложна. Ее решение зависит от развития не только астрономии, но и многих других естественных наук. Пока можно исследовать только единственную планетную систему, окружающую наше Солнце. Как выглядят более молодые и более старые системы, существующие вокруг других звезд, неизвестно. Но ученые убеждены в том, что правильное объяснение происхождения планетных систем будет найдено. Знать, как произошла наша планета, очень важно для дальнейшего развития геофизики, геохимии, геологии и других наук о Земле. Проблемами планетной космогонии в настоящее время занимаются ученые разных стран, в том числе и советские. В начале 40-х годов с космогонической гипотезой выступил известный советский ученый академик О. Ю. Шмидт (1891—1956). Ученики Шмидта продолжают разрабатывать вопросы происхождения планет.

Каковы же наиболее важные выводы планетной космогонии, полученные к настоящему времени? Согласно этим выводам,

планеты возникли в результате объединения твердых тел и частиц, образовавшихся во вращающемся вокруг Солнца газово-пылевом облаке. Первоначально все планеты были холодными (их температура не превышала 1000 К) и никогда не находились в раскаленно-жидком состоянии. Понадобилось определенное время, чтобы из небольших «зародышей» в результате гравитационного взаимодействия выросли планеты. Например, рост Земли до современных размеров продолжался примерно 100 млн. лет. Воздействие солнечного излучения на газ и пыль окружавшего Солнце облака привело к тому, что планеты-гиганты смогли образоваться только вдали от Солнца. Это связано с тем, что планеты, находящиеся вдали от Солнца, вобрали в себя не только тугоплавкие нелетучие вещества, но и «льды» (вода, метан, аммиак). Планеты земной группы могли конденсироваться только из тугоплавких нелетучих веществ. Таких веществ в газово-пылевом облаке было меньше, чем «льдов». Поэтому вблизи Солнца возникли небольшие планеты. Тела, падающие на формировавшуюся планету, передавали ей имеющийся у них импульс. От того, как именно происходили падения метеоритных тел на будущую планету, в конечном счете, зависят расположение оси вращения планеты и само направление ее вращения. Крупные по размерам и массам тела, падая на относительно холодную планету, например на Землю, разогревали ее. Дополнительное тепло, которое привело к расплавлению мантии Земли, выделялось и в результате других физических процессов, например в результате распада радиоактивных элементов. Разогрев сопровождался образованием оболочек Земли, вулканическими явлениями, возникновением океанов и первичной атмосферы. Первичные атмосферы таких планет, как Земля и Венера, могли быть вначале более похожими друг на друга, чем сейчас. В ходе эволюции атмосферы планет сильно изменились. Например, на Земле океан с его планктоном и растительностью могли поглотить большую часть углекислого газа и обогатить атмосферу кислородом. Ученым предстоит еще ответить на многие вопросы, связанные с возникновением и эволюцией планет [1], [3], [12].

17. 2. ПОСЛАНИЯ ВНЕЗЕМНЫМ ЦИВИЛИЗАЦИЯМ [12]. В 1974 г., используя 300-метровый радиотелескоп в Аресибо (Пуэрто-Рико), ученые отправили радиопослание в сторону шарового звездного скопления, находящегося в созвездии Геркулеса. При этом использовалась двоичная система счисления. Послание начинается перечислением цифр от 1 до 10 в этой системе. Затем были переданы атомные числа химических элементов (водорода, углерода, азота, кислорода и фосфора), составляющие молекулы ДНК (с изображением «двойной спирали»), сведения о нынешнем количестве людей на земном шаре (более 4 млрд), среднем росте представителя человеческого рода, о месте Земли в Солнечной системе. Адресат находился от нас на расстоянии около 7000 пк.

69•. *Когда земляне получат ответ, если представители внеземной цивилизации действительно окажутся на планете одной из звезд этого шарового скопления и немедленно откликнутся?*

Послания в виде табличек, содержащих информацию о нашей Земле и о нас самих, установлены на нескольких АМС, в том числе «Пионере-10» (США), направленной в 1972 г. в сторону Юпитера. Эта станция в конце 1973 г. прошла вблизи Юпитера. Своим притяжением Юпитер увеличил скорость станции почти до 20 км/с, т. е. сделал ее больше третьей космической скорости (16,7 км/с), необходимой для того, чтобы станция покинула пределы Солнечной системы и устремилась в межпланетное пространство. Возможно, «Пионер-10», когда-нибудь окажется в «руках» представителей внеземной цивилизации...

70•. *За сколько времени «Пионер-10» преодолеет расстояние, отделяющее Солнечную систему от ближайших звезд?*

ТРЕТИЙ РАЗДЕЛ

Практические работы и наблюдения

§ 1. НЕОБХОДИМЫЕ ПОСОБИЯ И ИНСТРУМЕНТЫ

1. ПОДВИЖНАЯ КАРТА ЗВЕЗДНОГО НЕБА (ПКЗН). Изучать звездное небо вам поможет карта, вложенная в книгу. Карту и накладной круг наклейте на картон. Вырез в накладном круге нужно сделать в соответствии с географической широтой места наблюдения. Например, для Москвы (ее широта $55^{\circ}45'$) можно сделать вырез по линии с отметками 55°. Если отмеченный на накладном круге час наблюдения расположить против даты, указанной на звездной карте, то в вырезе накладного круга окажутся созвездия, которые в данное время видны на небе. Края выреза накладного круга отмечают горизонт, на котором обозначены точки севера, юга, востока и запада. Центр выреза соответствует точке над головой наблюдателя — *зениту.* Если во время наблюдения вы смотрите в южную часть неба, то карту удобно держать перед собой так, чтобы точка юга была внизу.

Оба круга можно смонтировать на листе картона или тонкой фанеры.

2. «ШКОЛЬНЫЙ АСТРОНОМИЧЕСКИЙ КАЛЕНДАРЬ» (ШАК). Такой календарь выпускается на каждый учебный год. В нем вы найдете сведения о различных астрономических явлениях, которые можно наблюдать в интересующее вас время. Приобретите ШАК и разберитесь в его устройстве. Особое внимание надо уделить разделу календаря «Справочник наблюдателя». Именно в нем кратко сообщается о доступных наблюдениям астрономических явлениях и даются ссылки на другие разделы, где есть более подробные сведения о том, что вы решили наблюдать. Например, узнав, что сегодня вечером видна планета Марс, вы можете, обратившись к разделу «Планеты», уточнить, в каком созвездии нужно искать эту планету. А подвижная карта звездного неба поможет отыскать созвездие на небе и определить условия его видимости.

ШАК содержит и другие разделы, которые наверняка заинтересуют многих из вас.

3. БИНОКЛЬ. Полезные и увлекательные астрономические наблюдения можно выполнять с призменным биноклем. На биноклях после буквенных шифров, указывающих ГОСТ данной модели, вы найдете цифры, обозначающие увеличение и диаметр объектива. Например, БП 8× 30 — бинокль полевой, восьмикратное увеличение, диаметр объектива 30 мм. Такому биноклю теоретически доступны звезды до 10^m. Двойные звезды (с. 65), угловое расстояние между которыми примерно 7″, должны быть в такой бинокль видны раздельно. Строго говоря, реальные возможности биноклей могут оказаться несколько ниже.

Постарайтесь смастерить устройство, позволяющее быстро наводить бинокль на небесные светила и устойчиво держать его во время наблюдения.

4. САМОДЕЛЬНЫЙ ТЕЛЕСКОП. Если вы построили самодельный телескоп (с. 87), то определите его оптические характеристики:

а) Увеличение

$$w = \frac{F_{\text{объектива}}}{f_{\text{окуляра}}}. \qquad (25)$$

б) Предельная разрешающая способность

$$r = \frac{120''}{D}, \qquad (26)$$

где D — диаметр объектива в мм.

в) Проницающая сила, т. е. предельно доступная звездная величина:

$$m = 2{,}1 + 5\lg D. \qquad (27)$$

Испытывая свой телескоп, вы сумеете узнать реальные значения r и m. Для этого, пользуясь данными ШАК, вы будете наблюдать в телескоп одиночные слабые звезды с известным блеском и тесные двойные звезды, угловое расстояние между которыми указано в ШАК.

§ 2. ЗАДАНИЯ К ТЕМЕ «ВВЕДЕНИЕ В АСТРОНОМИЮ»

1. Познакомьтесь с устройством подвижной карты звездного неба (с. 126).

2. Подготовьте ПКЗН к работе.

3. Установите ПКЗН на 21 час 25 января.

4*. Познакомьтесь с устройством «Школьного астрономического календаря» (с.126). Каковы его основные разделы? Какие таблицы содержит ШАК? Какие таблицы есть в данном учебном пособии?

5. Подсчитайте, сколько звезд ярче 3-й звездной величины находится между небесным экватором и небесной параллелью $\delta = +30^\circ$?

6. Пользуясь ПКЗН, опишите вид неба 21.01. в 21 ч. Какие созвездия видны в южной стороне неба и в околозенитной области; выясните

названия самых ярких звезд (II, 132). Изучите взаимное расположение созвездий Большая Медведица, Малая Медведица и Кассиопея (с. 89).

7. Постарайтесь выбрать удобное для астрономических наблюдений место, откуда была бы видна как можно большая часть неба и где бы не очень мешало освещение улиц и домов. Взяв с собой установленную на данный день и час ПКЗН и фонарик, обеспечивающий небольшую подсветку карты, приступайте к изучению звездного неба. Лучше всего этим заняться в безлунную ночь. Найдите Большую Медведицу, α Малой Медведицы, Кассиопею. Ориентируясь по Полярной звезде, найдите направление на север, юг, восток и запад.

8. Подсчитайте, сколько звезд, у которых $m \geqslant 2$, расположено севернее небесной параллели $\delta = +30^{\circ}$.

9. Пользуясь ПКЗН и таблицей II, выясните собственные имена самых ярких звезд в зодиакальных созвездиях.

§ 3. ЗАДАНИЯ К ТЕМЕ «СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА»

10. Пользуясь разделом «Планеты» ШАК, познакомьтесь с видимыми путями, которые проходят на фоне звездного неба Марс, Юпитер и Сатурн в первой половине текущего года.

11*. Пользуясь ШАК, выясните, какие планеты и в каких созвездиях можно увидеть (в случае безоблачной погоды!) сегодня вечером.

12. Установите ПКЗН на 21 ч сегодняшнего дня. Заметьте, как по отношению к уже знакомым вам созвездиям расположено созвездие Ориона. Выясните, какие созвездия находятся по соседству с Орионом. Проведите на карте линию, начинающуюся от звезды δ «пояса Ориона» и последовательно проходящую через звезды γ, α, $\varkappa$ и β. Постепенно разворачивая получающуюся спираль, проведите ее через самые яркие звезды соседних с Орионом созвездий (с. 89). Теперь вы уже сумеете найти на небе Альдебаран, Капеллу, Поллукс, Процион, Сириус.

13. Продолжите самостоятельное изучение звездного неба. Снова отыщите незаходящие созвездия — Б. Медведица, М. Медведица, Кассиопея. Затем найдите созвездие Орион, а в нем — звезды Бетельгейзе, Ригель и три звезды «пояса Ориона».

14. Сириус — самая яркая звезда, которую мы можем видеть на нашем небе. Подумайте, как, отыскав «пояс Ориона», безошибочно найти Сириус. Найдите эту звезду сначала на карте, а потом и на небе. Догадайтесь, как с помощью ПКЗН определить, когда сегодня восходит и заходит Сириус.

15*. Проследите и зарисуйте полный цикл смены лунных фаз. Серп растущей Луны напоминает часть буквы «Р», а «старой» — букву «С». За каждые сутки Луна перемещается на фоне звезд примерно на 13° (к востоку), поэтому вы довольно легко обнаружите это перемещение, если будете отмечать на копии, снятой с карты, те звезды, вблизи которых Луна видна во время ваших наблюдений.

16*. Примерно через 3 дня после новолуния начните наблюдения Луны в бинокль или самодельный телескоп. В это время («возраст» Луны — три дня) терминатор проходит через Море Кризисов по окраинам Моря Изобилия (рис. 53). Постарайтесь увидеть горные валы, окаймляющие Море Кризисов, отдельные крупные кратеры. При «возрасте» Луны в шесть дней отчетливо видны Море Нектара, Море Спокойствия и Море Ясности, а также ряд кратеров. В день первой четверти («возраст»— семь дней), когда терминатор проходит через множество кратеров и цирков, можно наблюдать

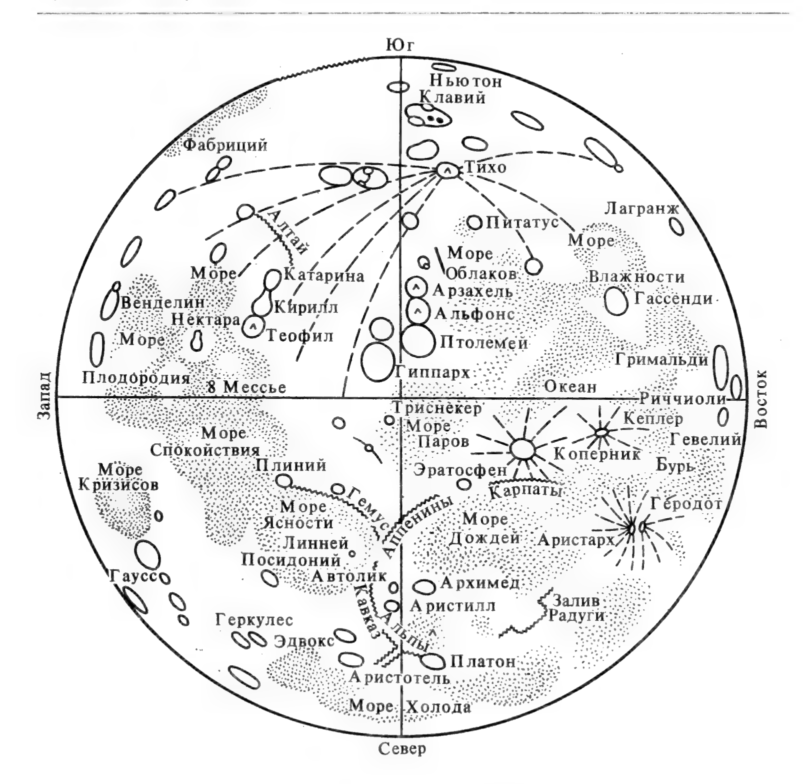


Рис. 53. Схематическая карта Луны (вид в телескоп)

лунный Кавказ. При «возрасте» Луны в десять дней вы сумеете найти обширное Море Дождей, горные хребты Апеннины, Альпы, а также много крупных кратеров и цирков (Коперник, Птолемей, Тихо и др.). При «возрасте» Луны в двенадцать дней уже видна значительная часть крупнейшей лунной равнины — Океана Бурь. Отчетливо выделяются кратеры Аристарх и Кеплер. Во время полнолуния осмотрите Океан Бурь, а также обратите внимание на светлые лучи, тянущиеся от кратеров Тихо, Коперник, Кеплер, Аристарх.

17*. Выясните, какие планеты и в каких созвездиях видны сегодня на небе. Постарайтесь отыскать их на небе.

18*. Посмотрите на яркую планету в бинокль или самодельный телескоп. Сравните с тем, как видны в эти оптические инструменты звезды.

19*. Наблюдая Венеру или Марс с интервалом в 5—7 дней, проследите перемещение этих планет относительно звезд.

20*. В ШАК есть раздел «Метеорные потоки». Познакомьтесь с ним. Найдите на звездной карте созвездия, в которых располагаются радианты таких потоков, как Персеиды, Лириды, Дракониды и Леониды.

21*. В бинокль или самодельный телескоп посмотрите на Юпитер и Сатурн. Видите ли вы спутники Юпитера, кольца Сатурна?

22*. С помощью бинокля или самодельного телескопа можно наблюдать солнечные пятна. Чтобы не испортить зрение, смотреть на Солнце в бинокль или телескоп без специального светофильтра категорически запрещается! Самый безопасный метод наблюдения Солнца — экранные наблюдения. К картону или фанере прикрепите лист белой бумаги с начерченной на ней окружностью (диаметр 5 или 10 см). Экран нужно расположить за окуляром бинокля (телескопа) и на него сфокусировать изображение Солнца. Расстояние от окуляра до экрана подберите таким, чтобы диаметр изображения Солнца был бы равен диаметру начерченной на бумаге окружности. Хорошо, если вы придумаете способ крепления легкого экрана к биноклю или телескопу. Остро отточенным карандашом нанесите положения пятен. Запишите дату и время наблюдения. Постарайтесь зарисовывать солнечные пятна несколько дней подряд. Сравнивая зарисовки, проследите, как менялось положение отдельных пятен и групп на диске (вспомните, вследствие чего это происходит!) и как изменились сами группы пятен.

23. Подумайте как, пользуясь только ПКЗН, определить, когда сегодня восходит и заходит Солнце.

§ 4. ЗАДАНИЯ К ТЕМЕ «ЗВЕЗДЫ И ГАЛАКТИКИ»

24. Продолжайте изучение звездного неба. Найдите на карте, а потом и на небе созвездия Льва, Волопаса и Девы.

25. Найдите на карте, а потом и на небе звезду ζ Большой Медведицы. Различаете ли вы Мицар и Алькор (с. 65) невооруженным глазом? Постарайтесь увидеть эту звезду в бинокль (телескоп). Угловое расстояние между Мицаром и Алькором около 12′. (В разделе ШАК «Двойные и кратные звезды» содержатся сведения и о других доступных наблюдению звездах.)

26. Найдите на карте звезды β Персея, δ Цефея, ο Кита. Определите условия их видимости. (Какая информация об этих звездах содержится в разделе «Переменные звезды» ШАК?)

27. Найдите на карте (а при удобном случае и на небе) галактику в созвездии Андромеды.

ЧЕТВЕРТЫЙ РАЗДЕЛ

Справочный

А. ТАБЛИЦЫ

I. Важнейшие даты в освоении космического пространства

Запуск первого в мире советского искусственного спутника Земли (начало космической эры)	4 октября 1957 г.
Доставка на поверхность Луны вымпела с изображением Герба СССР («Луна-2»)	14 сентября 1959 г.
Фотографирование обратной стороны Луны («Луна-3»)	7 октября 1959 г.
Первый орбитальный полет космического корабля «Восток», пилотируемого Ю. А. Гагариным	12 апреля 1961 г.
Первый космический полет женщины (В. В. Терешкова, корабль «Восток-6») .	16—19 июня 1963 г.
Первый выход человека из корабля в открытый космос (А. А. Леонов, корабль «Восход-2»)	18 марта 1965 г.
Фотографирование Марса с близкого расстояния (АМС «Маринер-4»)	16 июля 1965 г.
Первая мягкая посадка на поверхность Луны («Луна-9»)	3 февраля 1966 г.
Первый межпланетный перелет (Земля — Венера, АМС «Венера-3»)	16 ноября 1965 г., 1 марта 1966 г.
Запуск первого искусственного спутника Луны («Луна-10»)	31 марта 1966 г.
Первый облет Луны с возвращением АМС на Землю («Зонд-5»)	15—21 сентября 1968 г.
Первая экспедиция на Луну (Н. Армстронг, Э. Олдрин, М. Коллинз; корабль «Аполлон-11»)	16—24 июля 1969 г.

Первая доставка лунного грунта с помощью автоматического аппарата («Луна-16») . .	12—24 сентября 1970 г.
Первая доставка на Луну самоходной лаборатории «Луноход-1» («Луна-17»)	17 ноября 1970 г.
Первая мягкая посадка на поверхность Венеры («Венера-7»)	15 декабря 1970 г.
Первая долговременная орбитальная станция («Салют»)	апрель — октябрь 1971 г.
Первая мягкая посадка на поверхность Марса («Марс-3»)	2 декабря 1971 г.
Фотографирование Юпитера с близкого расстояния (АМС «Пионер-10»)	3 декабря 1973 г.
Фотографирование Меркурия с близкого расстояния (АМС «Маринер-10»)	30 марта 1974 г.
Первый международный космический эксперимент по программе «Союз» — «Аполлон»	15—20 июля 1975 г.
Старты к Марсу АМС «Викинг-1» и «Викинг-2», передавших с поверхности Марса панорамы планеты, выполнивших исследования марсианского грунта и не обнаруживших никаких признаков его биологической активности	20 августа и 9 сентября 1975 г.
Передача первых телевизионных изображений поверхности Венеры (АМС «Венера-9» и «Венера-10»)	22 и 25 октября 1975 г.
Создание первого орбитального научно-исследовательского комплекса «Салют-6» — «Союз»	январь 1978 г.

II. Названия наиболее ярких звезд

Альдебаран	— α Тельца	Кастор	— α Близнецов
Альтаир	— α Орла	Поллукс	— β Близнецов
Антарес	— α Скорпиона	Полярная	— α М. Медведицы
Арктур	— α Волопаса	Процион	— α М. Пса
Бетельгейзе	— α Ориона	Регул	— α Льва
Вега	— α Лиры	Ригель	— β Ориона
Денеб	— α Лебедя	Сириус	— α Б. Пса
Капелла	— α Возничего	Спика	— α Девы

III. Основные сведения о Земле

Экваториальный радиус	6378,16 км
Полярный радиус	6356,78 км
Сжатие земного эллипсоида	1 : 298,25
Масса	$5{,}9 \cdot 10^{24}$ кг
Средняя плотность	$5{,}5 \cdot 10^{3}$ кг/м^3
Средняя скорость орбитального движения	29,8 км/с
Ускорение силы тяжести	9,8 м/с^2

Первая космическая скорость	7,9 км/с
Вторая космическая скорость	11,2 км/с
Третья космическая скорость (минимальная скорость, необходимая для полета за пределы Солнечной системы)	16,7 км/с

IV. Основные сведения о Луне

Среднее расстояние от Земли	384 400 км
Сидерический период	$27{,}3^д$
Период вращения вокруг оси	$27{,}3^д$
Синодический период	$29{,}5^д$
Эксцентриситет орбиты	0,05
Наклонение орбиты к плоскости эклиптики	$5{,}1°$
Орбитальная скорость	1,03 км/с
Наибольший видимый угловой диаметр .	33′40″
Линейный диаметр	3477 км
Масса (Земли — 1,0)	0,01
Средняя плотность	$3{,}3 \cdot 10^3$ кг/м³
Ускорение силы тяжести (Земля — 1,0) . .	0,16
Вторая космическая скорость (параболическая)	2,4 км/с

V. Основные сведения о Солнце

Параллакс	8,79″
Среднее расстояние от Земли	$149{,}6 \cdot 10^6$ км
Наибольший видимый угловой диаметр .	32′31″
Линейный диаметр	$1{,}39 \cdot 10^6$ км ($109 Д_З$)
Масса	$2 \cdot 10^{33}$ кг
Средняя плотность	$1{,}4 \cdot 10^3$ кг/м³
Ускорение силы тяжести	27,9 м/с²
Вторая космическая скорость на поверхности	620 км/с
Линейная скорость точек на экваторе Солнца	2 км/с
Период вращения точек экватора	$25{,}4^д$
Температура фотосферы	6000 К
Температура солнечной короны	$1{,}5 \cdot 10^6$ К
Температура в центральных областях . .	$15 \cdot 10^6$ К
Солнечная постоянная	2 кал/(см²·мин) = 1,4 кВт/м²
Светимость	$3{,}8 \cdot 10^{26}$ Вт
Видимая звездная величина Солнца . . .	$-26{,}8^m$
Абсолютная звездная величина Солнца .	$+4{,}8^m$
Спектральный класс	*G* 2
Средняя продолжительность цикла солнечной активности	11 лет
Расстояние Солнца от центра Галактики .	10^4 пк
Скорость движения Солнца вокруг центра Галактики	250 км/с
Период обращения Солнца вокруг центра Галактики	$2 \cdot 10^8$ лет

VI. Основные сведения о планетах

Название планеты и ее обозначение	Среднее расстояние от Солнца, а. е.	Сидерический период, в годах	Эксцентриситет орбиты	Орбитальная скорость, км/с	Экваториальный радиус, км	Наклон оси к плоскости орбиты
Меркурий . . .	0,39	0,24	0,206	47,8	2 405	88°
Венера	0,72	0,61	0,007	34,9	6 100	87°
Земля	1,00	1,00	0,017	29,8	6 378	66,5°
Марс	1,52	1,88	0,093	24,1	3 395	65,5°
Юпитер	5,20	11,86	0,048	12,8	71 400	86,9°
Сатурн . . .	9,54	29,46	0,056	9,7	60 400	63,9
Уран	19,18	84,01	0,047	6,8	23 800	—8°
Нептун	30,09	164,78	0,009	5,5	22 300	61°
Плутон	39,44	284,4	0,247	4,8	1 250?	15°?

* В XVII в. были открыты кольца Сатурна. Кольца Сатурна можно увидеть

** В 1978 г. были открыты кольца Урана, невидимые (при визуальных

*** Летом 1978 г. был открыт спутник Плутона; его радиус всего лишь в 2—3 раза

VII. Основные сведения о наиболее ярких звездах, видимых в СССР

Наименование звезды	Экваториальные координаты		Видимая звездная величина, m	Спектральный класс
	прямое восхождение α	склонение δ		
Альдебаран . .	$04^{ч}34^{м}$	+16°27′	1,1	K5
Альтаир	$19^{ч}49^{м}$	+08°47′	0,9	A5
Антарес	$16^{ч}28^{м}$	—26°22′	1,2	M0
Арктур	$14^{ч}14^{м}$	+19°20′	0,2	K0
Бетельгейзе . .	$05^{ч}53^{м}$	+07°24′	0,9	M0
Вега	$18^{ч}36^{м}$	+38°45′	0,1	A0
Денеб	$20^{ч}40^{м}$	+45°10′	1,3	A2
Капелла	$05^{ч}14^{м}$	+45°58′	0,2	G0
Кастор	$07^{ч}33^{м}$	+31°58′	2,0	A0
Поллукс	$07^{ч}43^{м}$	+28°06′	1,2	K0
Полярная . . .	$02^{ч}02^{м}$	+89°07′	2,1	F8
Процион . . .	$07^{ч}38^{м}$	+05°18′	0,5	F5
Регул	$10^{ч}07^{м}$	+12°07′	1,3	B8
Ригель	$05^{ч}13^{м}$	—08°14′	0,3	B8
Сириус	$06^{ч}44^{м}$	—16°40′	—1,6	A0
Спика	$13^{ч}23^{м}$	—11°00′	1,2	B2

Период вращения	Средняя плотность, кг/м³	Ускорение силы тяжести $g_З$=9,8 м/с², $g_З$ = 1,0	Вторая космическая скорость, км/с	Масса (масса Земли = 1,0)	Число спутников	Наличие атмосферы
59^д	$5{,}5 \cdot 10^3$	0,38	4,2	0,05	—	Следы
250^д	$5{,}1 \cdot 10^3$	0,89	10,3	0,8	—	Очень плотная
23^{ч}56^{м}4^с	$5{,}5 \cdot 10^3$	1,00	11,2	1,0	1	Плотная
24^{ч}37^{м}22^с	$3{,}9 \cdot 10^3$	0,38	5,0	0,1	2	Разреженная
9^{ч}50^м	$1{,}3 \cdot 10^3$	2,64	61	317,5	14	Очень плотная
10^{ч}14^м	$0{,}7 \cdot 10^3$	1,17	37	95,2	10*	» »
24^ч?	$1{,}6 \cdot 10^3$	1,03	22	14,6	5**	» »
24^ч?	$2{,}3 \cdot 10^3$	1,50	25	17,2	2	» »
6,4^д?	$1{,}5 \cdot 10^3$?	0,5?	?	0,001?	1***	?

в школьный телескоп.
наблюдениях) даже в большие телескопы.
меньше радиуса Плутона (еще одна «двойная планета» в Солнечной системе?).

Температура, K	Светимость, $L_с$ = 1	Масса, $M_с$ = 1	Радиус, $R_с$ = 1	Расстояние от Солнца, в световых годах
4 000	150	5	25	70
8 500	10	2	1,8	16
3 500	19 000	20	750	170
4 000	100	4	20	40
3 000	22 500	20	800	650
11 000	50	3,5	2,6	30
10 000	25 000	35	44	820
4 500	140	4,5	15	45
10 500	23	3,5	2	45
4 000	32	4	16	35
5 500	6 200	10	90	650
6 500	7	1,5	1,2	11
14 000	150	5	4	85
13 000	64 000	20	35	1100
11 000	20	3	2,4	9
20 000	750	15	7	160

Б. ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ

1. Развитие представлений о Вселенной [1], [4], [5].
2. Достижения СССР в освоении космического пространства [9], [11].
3. Земля — планета Солнечной системы [4].
4. Природа Венеры и Марса [7].
5. Кометы и их природа [1].
6. Солнце и жизнь Земли [7].
7. Что такое звезды? [1], [12], [15].
8. Мир галактик [2], [3], [12].
9. Как и зачем человек познает Вселенную? [1], [5], [8].
10. Одиноки ли мы во Вселенной? [12].

В. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

I. Свои знания по разным вопросам астрономии и космонавтики, а также по истории этих наук, вы сумеете пополнить, прочитав книги:

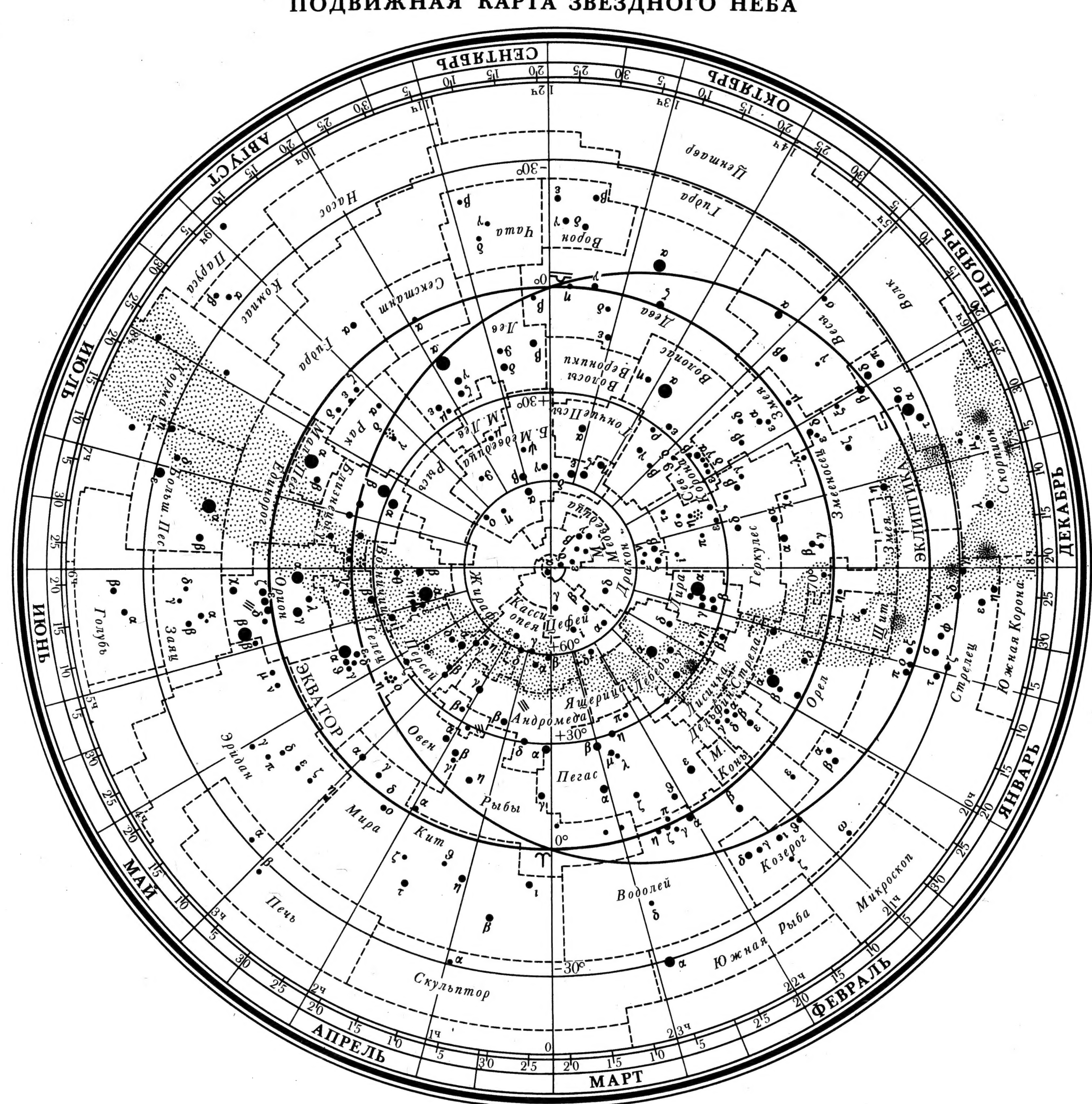
1. *Воронцов-Вельяминов Б. А.* Очерки о Вселенной. 7-е изд. — М.: Наука, 1976.
2. *Воронцов-Вельяминов Б. А.* Галактики, туманности и взрывы во Вселенной. — М.: Просвещение, 1967.
3. *Бронштэн В. А.* Гипотезы о звездах и Вселенной. — М.: Наука, 1974.
4. *Гурнштейн А. Л.* Извечные тайны неба. — М.: Просвещение, 1973.
5. *Ефремов Ю. Н.* В глубины Вселенной. — М.: Наука, 1972.
6. *Зигель Ф. Ю.* Лунные горизонты. — М.: Просвещение, 1976.
7. *Левитан Е. П.* Астрофизика — школьникам. — М.: Просвещение, 1977.
8. *Левитан Е. П.* Физика Вселенной. — М.: Наука, 1976.
9. *Левантовский В. И.* Механика космического полета в элементарном изложении. 2-е изд. — М.: Наука, 1974.
10. *Навашин М. С.* Телескоп астронома-любителя. 5-е изд. — М.: Наука, 1979.
11. *Марленский А. Д.* Основы космонавтики. — М.: Просвещение, 1975.
12. *Шкловский И. С.* Вселенная, жизнь, разум. 3-е изд. — М.: Наука, 1973.

II. Советы и рекомендации по поводу выполнения астрономических наблюдений, а также необходимый справочный материал и карты вы найдете в следующих книгах и пособиях:

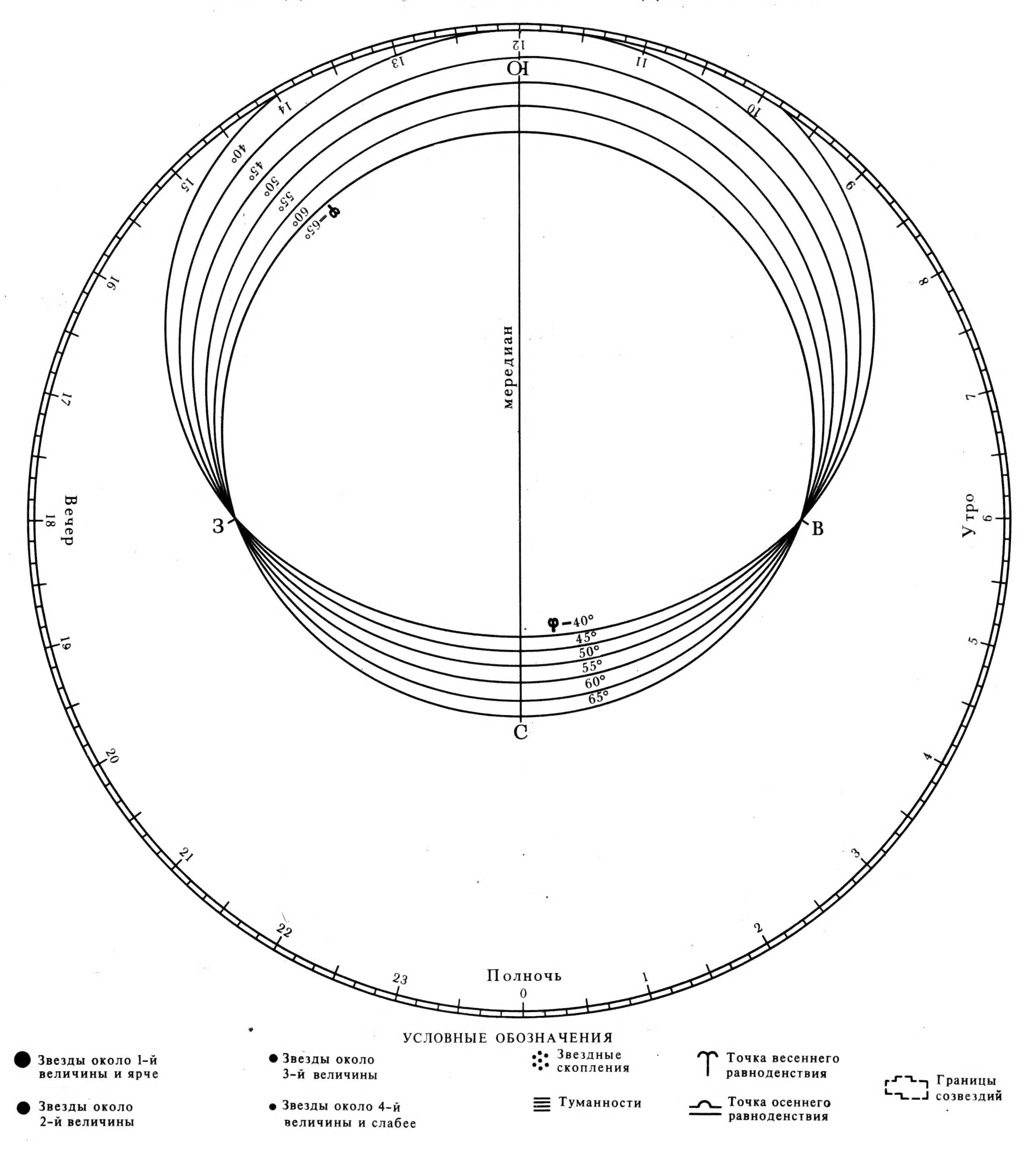
13. *Куликовский П. Г.* Справочник любителя астрономии. 4-е изд. — М.: Наука, 1971.
14. *Дагаев М. М.* Наблюдения звездного неба. 4-е изд. — М.: Наука, 1979.
15. *Зигель Ф. Ю.* Сокровища звездного неба. 3-е изд. — М.: Наука, 1976.
16. *Цесевич В. П.* Что и как наблюдать на небе. 5-е изд. — М.: Наука, 1979.
17. *Марленский А. Д.* Учебный звездный атлас. 3-е изд. — М.: Просвещение, 1979.

III. Сведения о новейших достижениях в области астрономии, космонавтики и наук о Земле регулярно публикуются в научно-популярном журнале Академии наук СССР «Земля и Вселенная», а также в разделе «Любителям астрономии» журнала «Наука и жизнь». Эти сведения пригодятся вам при работе над рефератами.

ПОДВИЖНАЯ КАРТА ЗВЕЗДНОГО НЕБА



НАКЛАДНОЙ КРУГ К КАРТЕ ЗВЕЗДНОГО НЕБА



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Звезды около 1-й величины и ярче

Звезды около 2-й величины

Звезды около 3-й величины

Звезды около 4-й величины и слабее

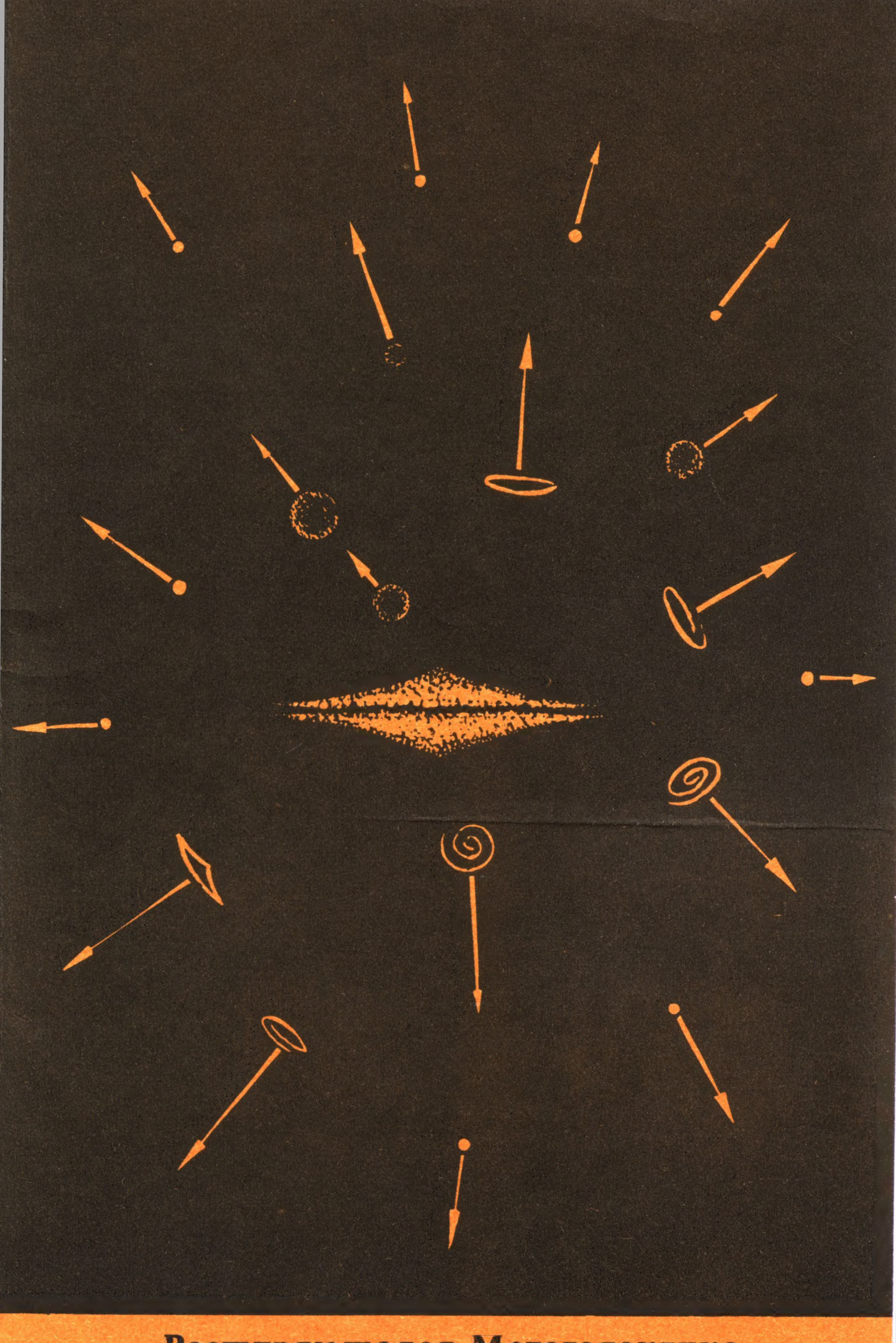
Звездные скопления

Туманности

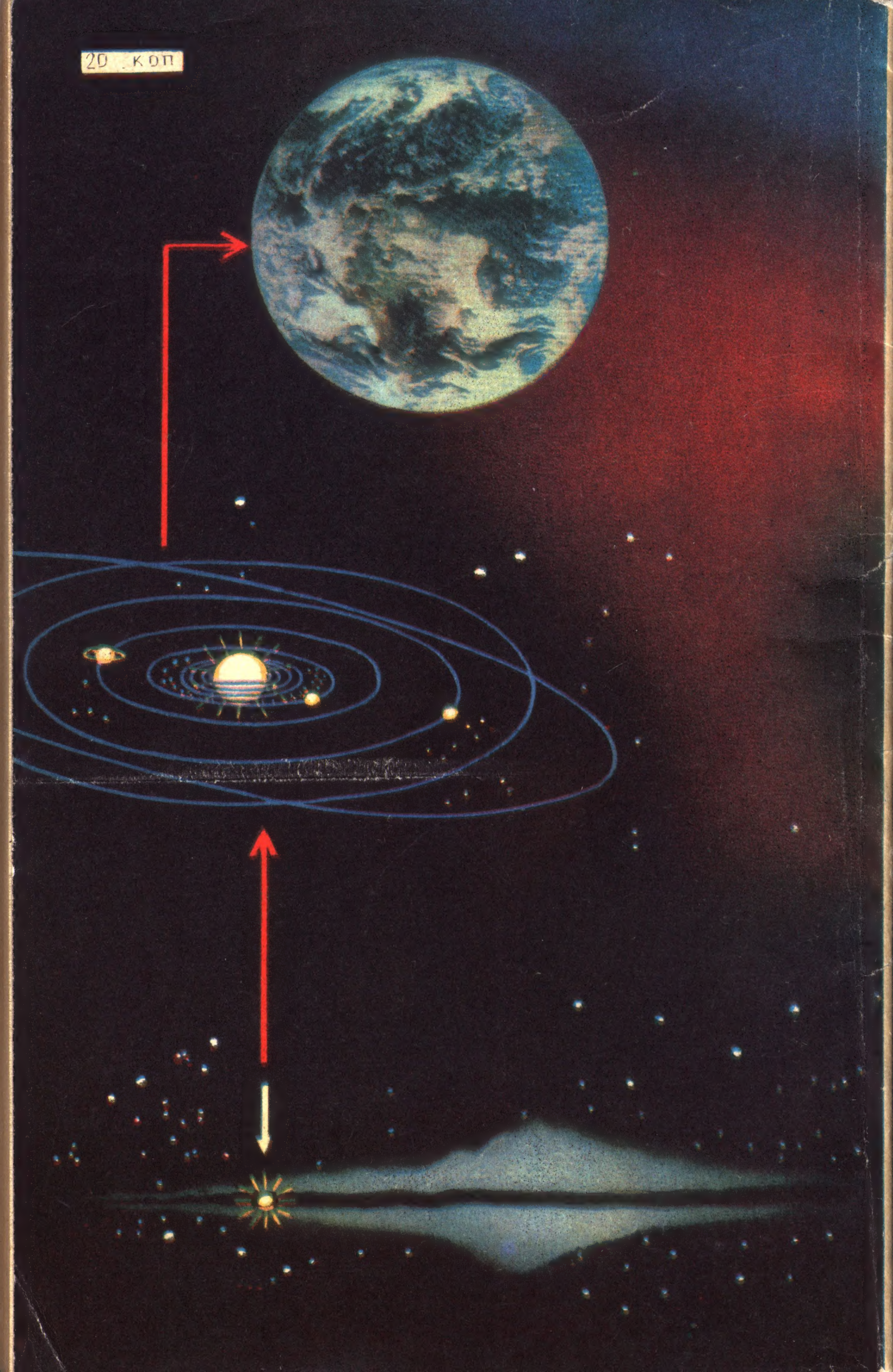
Точка весеннего равноденствия

Точка осеннего равноденствия

Границы созвездий



Расширяющаяся Метагалактика


20 коп